

«ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

# ПРОМЕЛЕКТРО

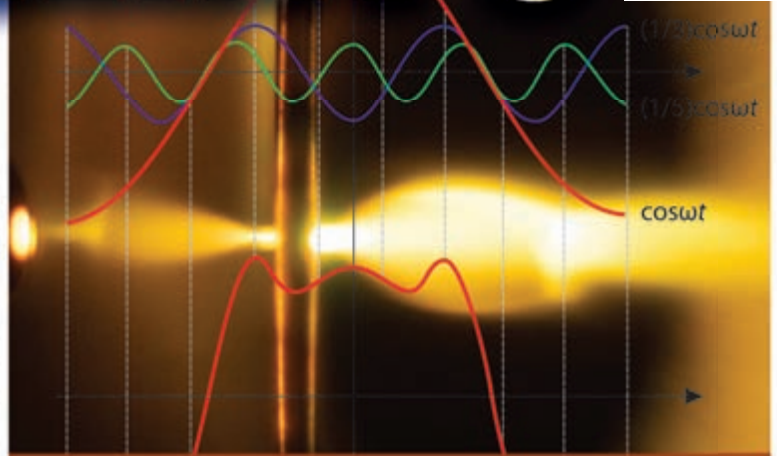
PROMELEKTRO.COM.UA

ISSN 2409-2924  
9 772409 292003



ПРО РОБОТУ ПРОТЯГОМ 2024 РОКУ  
ПРИЄДНАНОЇ ДО МЕРЕЖІ 0,4 кВ MICROGRID  
ТА МОЖЛИВЕ ПОЛІПШЕННЯ ЇЇ РОБОТИ

с. 6



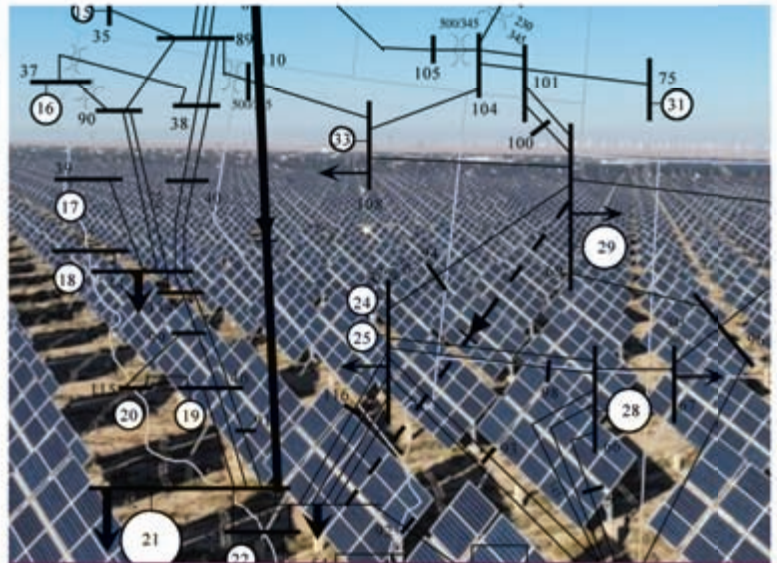
СИСТЕМНА МЕТОДОЛОГІЯ АНАЛІЗУ  
НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК НАПРУГИ  
В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

с. 34



ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЯ  
В УМОВАХ СТАБІЛІЗАЦІЙНИХ  
ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

с. 78



ПРОЄКТ ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ  
РОЗРОБЛЕННЯ ДЕРЖАВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ НОРМ  
ДБН В.2.5-XX "ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ..."

с. 82

**XXIV МІЖНАРОДНИЙ  
ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ-2026**  
МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ

- МЕТАЛООБРОБКА
- УКРЗВАРУВАННЯ
- УКРВОРТЕХ
- ГІДРАВЛІКА ПНЕВМАТИКА
- ПІДШИПНИКИ
- УКРЛИТВО
- АВТОМАТИЗАЦІЯ І РОБОТОТЕХНІКА
- БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА
- ЗРАЗКИ, СТАНДАРТИ ЕТАЛОНИ, ПРИЛАДИ
- ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ СКЛАДСЬКЕ ОБЛАДНАННЯ
- ІНДУСТРІАЛЬНІ ПАРКИ

**26–28 травня**

**2**  
**2025**  
листопад

МІЖНАРОДНА ВИСТАВКА РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ  
ТА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

# GREEN:EXPO

25—26 березня 2026

Нова!  
**ЛОКАЦІЯ**

Більше!  
**ПРОСТОРУ**

Більше!  
**МОЖЛИВОСТЕЙ**



Отримати  
квиток на виставку



Придбати  
квиток на форум



Київ, «М82», вул. Межигірська, 82

[www.greenexpo.com.ua](http://www.greenexpo.com.ua)

## ТОВ "ЕЛЕТЕР — 23"

ЄДРПОУ 39301468  
02094, м. Київ, вул. Магнітогорська, 2  
Тел.: +380 50 311 37 83  
+380 50 311 40 51

E-mail: [eleter23@i.ua](mailto:eleter23@i.ua)

Підприємство професійно займається розробленням і впровадженням електричних кабельних систем опалення та антикригових систем в процесі будівництва і реконструкції.

### 1. Комфортне електроопалення "Тепла підлога" в житлових та громадських будівлях, понад 6000 систем, серед яких:

- ❑ Михайлівський Золотоверхий монастир в м. Києві;
- ❑ надземні споруди станції "Лук'янівська" київського метрополітену;
- ❑ 15 станцій Київського метрополітену (Іподром, Виставковий центр, Васильківська, Деміївська, Голосіївська та інші)
- ❑ житлові й громадські будівлі та споруди, окремі приміщення по всій Україні.

### 2. Антикригові системи покрівель, понад 600 систем, серед яких:

- ❑ Успенський собор Києво-Печерської лаври;
- ❑ Михайлівський Золотоверхий Собор в м. Києві;
- ❑ Національна філармонія України;
- ❑ Верховна Рада України;
- ❑ Розрахункова палата в м. Києві;
- ❑ Центральний і Південний вокзали м. Києва.

### 3. Антикригові системи відкритих поверхонь (під'їзні шляхи і пішохідні доріжки, пандуси підземних паркінгів, виходи з підземних переходів, відкриті балкони) на площі понад 300 тис. м<sup>2</sup>, серед яких:

- ❑ підігрів газонів футбольних полів: стадіон ім. В.В. Лобановського, м. Київ, стадіон ФК "Оболонь", м. Київ, стадіон ФК "Ворскла", м. Полтава;
- ❑ підземні переходи Майдану Незалежності, вул. Хрещатик, Бессарабської площі, Севастопольської площі, Центральний і Південний вокзали м. Києва та ін.;
- ❑ станції метро "Лук'янівська", "Печерська", "Шулявська", "Дружби народів", "Дорогожичі".

### 4. Промисловий обігрів технологічного обладнання (електрообігрів труб та резервуарів)

- ❑ Підігрів полу промислових морозильних камер на підприємстві ТОВ "Бейкері Фуд Індастрі", смт Козелець Чернігівської області
- ❑ Чотири цукрових заводи в Україні (трубопроводи та ємності);
- ❑ Макіївський металургійний завод (обігрів трубопроводів зворотного водозабезпечення).



УСПЕНСЬКИЙ СОБОР КИЄВО-ПЕЧЕРСЬКОЇ ЛАВРИ  
Системи електрокабельного опалення та антикриги



КИЇВСЬКИЙ ЗАЛІЗНИЧНИЙ ВОКЗАЛ  
Антикригова система



МАРІЙНСЬКИЙ ПАЛАЦ У КИЄВІ  
Система тепла підлога



БУДИНОК "АРЕНА СІТІ В КИЄВІ"  
Антикригова система



УФК "ДИНАМО" КИЇВ  
Система підігрівання поля



НАЦІОНАЛЬНИЙ ЗАПОВІДНИК "СОФІЯ КИЇВСЬКА"  
Система електрокабельного опалення



ГІРСЬКОЛИЖНИЙ КУРОРТ БУКОВЕЛЬ  
Системи електрокабельного опалення та антикриги



ЗАЛІЗНИЧНИЙ ВОКЗАЛ • СТАНЦІЯ "РОЗДІЛЬНА"  
Антикригова система

Відділення “Укрпошта”

Періодичність – 2 номери на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію:  
серія КВ, № 2079 від 16.07.1996 р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції:  
серія ДК, № 5613 від 25.09.2017 р.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа від 07.03.2024 р.  
Ідентифікатор медіа – R30-02923



**ВИДАВЕЦЬ** ТОВ “ЕТІН”

**ДИРЕКТОР**

Любич Мар'ян Орестович

**РЕДАКТОР**

Козенко Олександр Миколайович

**НАУКОВИЙ РЕДАКТОР**

Буткевич Олександр Федотович, д.т.н.  
Професор. Головний науковий співробітник  
Інститут електродинаміки НАН України

**ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ**

Денисюк Сергій Петрович, д.т.н.  
Директор Інституту енергозбереження  
та енергоменеджменту  
Професор. Кафедра електропостачання  
НТУУ “Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”

**ВИПУСКАЮЧИЙ РЕДАКТОР**

Облакевич Сергій Вікторович  
Директор ТОВ “Альтіс-Енерго”  
Корпорація Альтіс холдинг

**ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР**

Чижик Павліна Андріївна

**ФОТОКОРЕСПОНДЕНТ**

Зубова Ольга В'ячеславівна

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ**

ТОВ “ЕТІН”  
03190, м. Київ, а/с № 15  
[www.promelektro.com.ua](http://www.promelektro.com.ua)  
[promelektro.etin@gmx.de](mailto:promelektro.etin@gmx.de)  
[promelektro.etin@gmail.com](mailto:promelektro.etin@gmail.com)  
+380 44 228 82 68

**КОР. ПУНКТ м. ЗАПОРІЖЖЯ**

ТОВ “ТПФ Донтехпром”  
69118, м. Запоріжжя,  
вул. Автозаводська, 50, оф. 147  
[kozenko@3g.ua](mailto:kozenko@3g.ua)  
+380 50 470 18 38

**ОРИГІНАЛ-МАКЕТ ТОВ “ДІА”**

03022, м. Київ, вул. Васильківська, 45  
[dia\\_1997@ukr.net](mailto:dia_1997@ukr.net)  
+380 99 225 73 68

Рекомендовано до друку редакційною колегією,  
протокол № 2 від 26.11.2025 р.

Підписано до друку 27.11.2025 р.

Дата виходу номеру 28.11.2025 р.

Формат 60 × 84 1/8. Ум. друк. арк. – 10,23.

Обл. вид. арк. – 11,02.

# 2025

№2  
№5

## ЗМІСТ

### 6 ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

6 Ворушило А.О.  
Про роботу протягом 2024 року приєднаної до мережі 0,4 кВ Microgrid та можливе поліпшення її роботи

18 Юнеєва Н.Т., Чорний Ю.А.  
Моделювання перехідних режимів в аспекті живучості електроенергетичних систем

### 26 ПІДСТАНЦІЇ ТА ЩИТОВІ

26 Сервоелектронні / електродинамічні стабілізатори змінної напруги та пристрої живлення

34 Шестеренко В.Є., Чорний Ю.А.  
Системна методологія аналізу негативного впливу вищих гармонік напруги в системах електрозабезпечення

### 42 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ

42 Бедерак Я.С.  
Заходи захисту кабелів середньої напруги, електронних пристроїв та приладів, підключених до вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів, від внутрішніх перенапруг

Манілов А.М.

46 Електропостачання електроприймачів з особливо складним технологічним процесом

47 Про виключення непрямого дотику людини або тварин до пошкодженої струмоведучої частини ізоляції в мережах напругою 1–35 кВ

### 48 ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

48 Бедерак Я.С.  
Заходи забезпечення достовірної роботи приладів, що входять до складу автоматизованої системи технічного обліку електроенергії підприємств

### 56 ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА

56 BESS або акумуляторні батареї: джерело енергії для майбутнього

60 MasterPacT MTZ Active для зменшення енергоспоживання та скорочення викидів вуглецю

62 Установка зберігання енергії (УЗЕ). Система „Все — в одному”

64 Трансформаторна станція SPS відповідь на потреби сьогодення наших клієнтів

### 78 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

78 Тихоненко С.В.  
Теплоакумуляція в умовах стабілізаційних відключень електроенергії

### 82 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА

82 Облакевич С.В.  
Проект обґрунтування необхідності розроблення державних будівельних норм ДБН В.2.5-XX „Фотоелектричні станції. Правила проектування”

### 86 НЕКРОЛОГ

86 Валентин Васильович ДОЛГОПОЛОВ

87 Володимир Григорович СТАФІЙЧУК

# XXIV МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ-2026

## МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ



МЕТАЛООБРОБКА



УКРЗВАРЮВАННЯ



УКРВТОРТЕХ



ГІДРАВЛІКА  
ПНЕВМАТИКА



ПІДШИПНИКИ



УКРЛИТВО



АВТОМАТИЗАЦІЯ  
І РОБОТОТЕХНІКА



БЕЗПЕКА  
ВИРОБНИЦТВА



ЗРАЗКИ, СТАНДАРТИ  
ЕТАЛОНИ, ПРИЛАДИ



ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ  
СКЛАДСЬКЕ ОБЛАДНАННЯ



ІНДУСТРІАЛЬНІ  
ПАРКИ



Генеральний  
інформаційний партнер:

**ОБЛАДНАННЯ**  
**ІНСТРУМЕНТ**  
для професіоналів

# 26-28 травня



Місце проведення:  
МВЦ, м. Київ,  
Броварський пр-т, 15,  
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-85,  
+38 (096) 505-52-66



plast@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua



**Гребченко Миколай Васильович,**

**д.т.н. Професор.**

Зав. кафедри електропостачання  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України

**Фаренюк Геннадій Григорович,**

**д.т.н., с.н.с.**

Директор ДП “Державний науково-дослідний  
інститут будівельних конструкцій”

Голова ТК 302, Мінрегіон,

“Енергоефективність будівель і споруд”

**Сорокін Віктор Михайлович,**

**чл.-кор. НАН України, д.т.н. Професор.**

Заст. директора Інституту фізики напівпровідників  
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

**Калінчик Василь Прокопович,**

**к.т.н., с.н.с. Доцент.**

Директор НДІ автоматики та енергетики “Енергія”  
НТУУ “Київський політехнічний інститут”

Кафедра електропостачання

НТУУ “Київський політехнічний інститут”

**Квицинський Анатолій Олександрович,**

**к.т.н. Доцент.** Головний інженер

Науково-технічний центр електроенергетики

ДП “НЕК Укренерго”

**Слинько Володимир Мефодійович,**

**к.т.н., с.н.с.**

Керівник науково-дослідного центру випробувань

засобів автоматизації в енергетиці

Інститут електродинаміки НАН України

**Тимченко Микола Петрович,**

**к.т.н., с.н.с.**

Відділ високотемпературної термогазодинаміки.

Інститут технічної теплофізики НАН України

**Гапон Дмитро Анатолійович,**

**к.т.н. Доцент.**

Кафедра автоматизації енергосистем

НТУ “Харківський політехнічний інститут”

**Любич Михайло Орестович,**

**к.т.н. ФРН.**

Фахівець у галузі вітроенергетики

**Жабський Юрій Вікторович**

Директор ТОВ “Вінд Фарм”

Заслужений будівельник України

**Лубинський Борис Борисович**

Фахівець з правового забезпечення

**Беккерман Олександр Едуардович**

Заступник технічного директора,

керівник регіонального структурного підрозділу

ТОВ КК “Вітряні парки України”

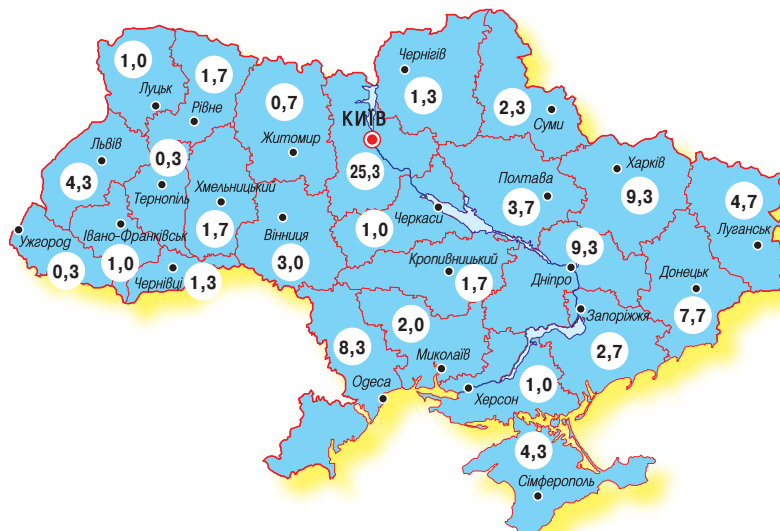
**Петришин Богдан Михайлович**

Заслужений будівельник України

**Черкашин Ігор Юрійович**

Голова Громадського об’єднання

“Експертна платформа з енергоефективності”



## ЗБІРНИК ВИДАЄТЬСЯ ЗА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ТА СПІВПРАЦІ З НИЗКОЮ ОРГАНІЗАЦІЙ

ДП “НЕК Укренерго”

Інститут електродинаміки

НАН України

Інститут технічної теплофізики

НАН України

ДП “Державний науково-дослідний  
інститут будівельних конструкцій”

НТУУ “Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського”

НТУ “Харківський політехнічний  
інститут”

Донецький національний  
технічний університет

Національний університет біоресурсів  
і природокористування України

Інститут енергозбереження  
та енергоменеджменту

ХНТУМГ імені О.М. Бекетова

ТОВ “Вінд Фарм”

**АППАУ**

АСОЦІАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ  
ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
УКРАЇНИ

**КБУ** Конфедерація  
Будівельників  
України



Асоціація  
енергоаудиторів

**ІАВІО**  
Біоенергетична асоціація України

АСОЦІАЦІЯ  
ВИРОБНИКІВ  
СВІТЛОДІЮДНОЇ  
ТЕХНІКИ

**УВЕА** УКРАЇНЬСЬКА  
ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНА  
АСОЦІАЦІЯ

## РУБРИКИ ЗБІРНИКА

Державна політика

Новини та події

Виробники України

Електричні мережі

Електричні станції

Підстанції та щитові

Електричні машини

Релейний захист

Автоматизація технологічних  
процесів АСУ ТП

Облік електроенергії

Світлотехніка

Блискавкозахист та заземлення

Електробезпека електроустановок

Відновлювана енергетика

Енергоефективність та енергозбереження

Інформаційна безпека

Проектування та монтаж

Експлуатація та ремонт

Економіка

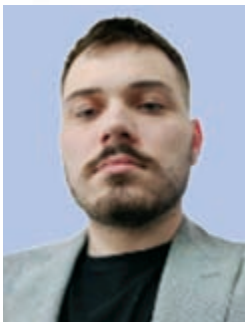
Наукові розробки

Нормативно-правова база

Запитання – Відповіді

Книжкова полиця





**А.О. Ворушило,**  
аспірант,  
ORCID 0009-0001-  
9272-6789

**Інститут загальної енергетики  
НАН України,**  
м. Київ



УДК 621.311

Надійшла  
Received 02.11.2025

## ПРО РОБОТУ ПРОТЯГОМ 2024 РОКУ ПРИЄДНАНОЇ ДО МЕРЕЖІ 0,4 кВ MICROGRID ТА МОЖЛИВЕ ПОЛІПШЕННЯ ЇЇ РОБОТИ

Основна частина роботи зосереджена на аналізі діючої Microgrid, де традиційна резервна дизельна електрична станція (ДЕС) була поступово доповнена системою фотоелектричних панелей, накопичувачами енергії та гібридним інвертором. Проведені розрахунки економічної ефективності, вираженої через інтегральний ефект (NPV) [31–33], дозволяють визначити терміни окупності різних варіантів організації Microgrid — від роботи лише з ДЕС до комбінованих схем із використанням накопичувачів. Виявлено, що оптимізація режимів роботи (в тому числі за допомогою модернізації накопичувачів) може скоротити термін окупності до 6,5 років, що значно підвищує привабливість інвестицій у такі проекти. В статті увагу приділено аналізу впливу тарифоутворення та ринкових умов на економічні показники проектів, адже реальні ціни на електроенергію та паливо суттєво впливають на фінансову доцільність впровадження Microgrid. Порівняно показники традиційних дизельних генераторів з можливими перевагами газопоршневих установок, що використовують природний газ, підкреслюючи їх потенціал у контексті зниження витрат та екологічних переваг. Стаття не лише демонструє актуальність застосування Microgrids для забезпечення стабільного та ефективного електропостачання в умовах сучасних викликів, але й пропонує конкретні методичні підходи до оптимізації їх роботи з економічної та енергетичної точки зору. Це дослідження створює базу для подальших розробок у сфері інтеграції відновлюваних джерел енергії та оптимізації режимів роботи електроенергетичних систем в Україні.

### ON THE OPERATION OF THE 0.4 kV MICROGRID CONNECTED TO THE NETWORK IN 2024 AND POSSIBLE IMPROVEMENT OF ITS OPERATION

**A.O. Vorushylo,** General Energy Institute, NAS of Ukraine, e-mail: Anton2320@gmail.com

The main part of the work focuses on the analysis of the existing Microgrid, where the traditional backup diesel power plant (DPS) was gradually supplemented by a system of photovoltaic panels, energy storage and a hybrid inverter. The calculations of economic efficiency, expressed in terms of the integral effect (NPV) [31–33], allow us to determine the payback periods of various Microgrid organization options — from operation only with DPS to combined schemes using storage. It was found that optimization of operating modes (including through modernization of storage) can reduce the payback period to 6.5 years, which significantly increases the attractiveness of investments in such projects. The article focuses on the analysis of the impact of tariff formation and market conditions on the economic indicators of projects, since real prices for electricity and fuel significantly affect the financial feasibility of implementing a Microgrid. The authors compare the performance of traditional diesel generators with the possible advantages of gas-piston units using natural gas, emphasizing their potential in the context of cost reduction and environmental benefits. The article not only demonstrates the relevance of the use of Microgrids to ensure stable and efficient electricity supply in the face of modern challenges, but also offers specific methodological approaches to optimizing their operation from an economic and energy point of view. This study creates a basis for further developments in the field of integration of renewable energy sources and optimization of operating modes of power systems in Ukraine.



## ВСТУП

Прагнення до вуглецевої нейтральності, яке вважається запорукою стійкого розвитку, підвищує роль електричної енергії в силу її унікальних властивостей [1]. Наразі основними шляхами її досягнення вважають впровадження енергоощадних технологій і збільшення обсягів використання відновлюваних джерел енергії на засадах концепції **Smart Grid** [2, 3]. **Microgrid** у цій статті розглядається як елемент Smart Grid, приєднаний до розподільної мережі відповідно до вимог [3–10]. Захист та динамічне керування Microgrid, призначені для забезпечення безпечної та стійкої її роботи в умовах збоїв та завод, як те передбачено [11–14], в цій роботі не розглядаються.

Загалом протягом 2022–2023 років в Україні введено понад 650 МВт нових потужностей відновлюваної енергетики, з яких: 371 МВт — фотоелектричні станції (у т.ч. 287 МВт приватними домогосподарствами); 227 МВт — вітрові електростанції; 50 МВт — об'єкти біоенергетики (біомаса та біогаз); 1 МВт — малі гідроелектростанції [15]. Фотоелектрична енергетика в Україні розвивається найшвидшими темпами — встановлена потужність таких електростанцій (з урахуванням генеруючих установок приватних домогосподарств) на початок 2024 року становить 7327 МВт, або майже 90 відсотків загальної встановленої потужності об'єктів відновлюваної енергетики (без урахування об'єктів, розташованих на тимчасово окупованих територіях). За період повномасштабного вторгнення РФ було втрачено близько 0,6 ГВт потужності фотоелектричних станцій [15]. Планується, що виробництво електричної енергії з енергії сонячного випромінювання може бути суттєво збільшено до 2030 року (загальна потужність ФЕС зросте до 12,2 ГВт, з яких 7,2 ГВт — у виробників та 5 ГВт — у активних споживачів [1]).

З 2014 року в Україні завдяки моделі “зеленого” тарифу здійснюється стрімке зростання генеруючих установок приватних домогосподарств, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання [15–17]. Так, за останні п'ять років сумарна потужність таких установок зросла майже у 10 разів і станом на початок 2024 року становила 1493 МВт (близько 54 тис. ФЕС), або 17,3% усієї потужності об'єктів відновлюваної електроенергетики, що працюють за моделлю “зеленого” тарифу (без урахування об'єктів, що розташовані на тимчасово окупованих територіях). Водночас інші види відновлюваних джерел енергії практично не використовуються споживачами (на початок 2024 року приватними домогосподарствами встановлено 31 кВт генеруючих установок з використанням енергії вітру та 245 кВт комбінованих вітро-сонячних установок). Модель “зеленого” тарифу для приватних домогосподарств [18–19] не стимулює власників таких електростанцій використовувати вироблену електричну енергію для власного споживання. Істотна різниця між розміром “зеленого” тарифу та ринковою ціною спонукає власників електростанцій до максимізації відпуску дорогої електричної енергії в мережу з метою отримання прибутку. Подальше стало збільшення кількості сонячних електростанцій

приватних домогосподарств за моделлю “зеленого” тарифу, визначеного Законом України “Про альтернативні джерел енергії”, складно реалізовувати через обмежені ресурси тарифу на послуги з передачі електричної енергії. Крім того, існуюча модель “зеленого” тарифу не дозволяє досягти ключової цілі стимулювання розвитку відновлюваної генерації споживачами — покриття власного споживання. Оскільки відповідно до [20] група взаємопов'язаних навантажень і розподілених енергетичних ресурсів із визначеними електричними межами, що утворюють локальну електроенергетичну систему на рівнях розподільної напруги, яка діє як єдиний керований об'єкт і здатна працювати в острівному режимі, називається Microgrid, вважається за можливе шукати відповіді на виникаючі питання на засадах Microgrid. Дослідження, представлене у статті, присвячене аналізу та удосконаленню улаштування і роботи Microgrid як одного з недостатньо вивчених елементів ринку електричної енергії України в період війни, які мають певні відмінності від відомого досвіду [21–30].

Так, наприклад, в [21] викладено результати дослідження ефективності в середовищі HOMER Pro планованих до будівництва Microgrids з використанням в якості факторів інтенсивності опромінювання, цін на фотоелектричні панелі та акумулятори, розмірів акумуляторних батарей тощо. Досліджувався вплив факторів на інтегральний ефект, первинні інвестиції та собівартість енергії.

В [22, 23] розглянуто Microgrid з відновлюваними джерелами енергії (вітрові турбіни і фотоелектричні панелі), яка використовує систему зберігання енергії (ESS) і кероване (гнучке) навантаження для балансування системи. Можливі втрати, обумовлені перервами електропостачання, в [21–23] не розглядаються.

В [24, 25] увага приділяється електропостачанню критичних навантажень за допомогою Microgrids, що сприятливо впливає на показники надійності електропостачання територій, які потерпають від стихійних лих.

І хоча проникнення відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в існуючі системи електропостачання і транспорту надає переваги у вигляді зменшення викидів парникових газів, воно породжує низку нових проблем, обумовлених стохастичним характером генерації вітрових (ВЕС) і фотоелектричних (ФЕС) станцій. Коливання швидкості вітру та інсоляції можуть порушувати баланс між попитом на електричну енергію та пропозицією. Як вихід у [19, 26, 27] пропонуються до застосування ESS значної ємності та надлишковість генерації з використанням ВДЕ.

В [28, 29, 40, 45] істотну увагу приділено як технологіям використання і вартості ESS у складі Microgrid, так і деградації характеристик ESS в процесі експлуатації. З метою продовження терміну служби накопичувачів у [30], наприклад, запропоновано використання суперконденсаторів.

Різноманітність підходів до улаштування та організації експлуатації Microgrid [4–30] свідчить про необхідність додаткових досліджень цих питань, а досягнення в галузях перетворення енергії ВДЕ

в електричну енергію і зберігання енергії обумовлюють пошуки нових оптимальних рішень.

**Метою роботи** є опис процедур удосконалення характеристик алгоритмів і режимів роботи Microgrid за результатами однорічного періоду її експлуатації, спрямованих на зменшення витрат за достатнього рівня надійності електропостачання користувачів.

Удосконалення характеристик існуючої Microgrid полягає у зменшенні витрат, пов'язаних з використанням дизельної електричної станції (ДЕС) і закупівлею електричної енергії в оператора системи розподілу, за достатнього рівня надійності електропостачання користувачів і без залучення додаткових інвестицій.

### ОПИС ДОСЛІДЖУВАНОЇ MICROGRID

Microgrids в Україні впроваджуються за раніше не спостережуваних у світі умов, визначальними характеристиками яких є:

- трансформація розподільних мереж, часткою яких є Microgrids, відбувається в країні з високим рівнем електроспоживання як на одну людину, так і на одиницю ВВП [34];
- трансформація відбувається за умов систематичної, неперервної та непередбачуваної руйнації

об'єктів електроенергетики зовнішнім ворогом [35, 37];

- трансформація відбувається відповідно до прийнятих зобов'язань України щодо зменшення викидів парникових газів [36];
- трансформація відбувається в умовах неперервного удосконалення характеристик фотоелектричних перетворювачів, засобів телекомунікацій, накопичувачів енергії та зменшення їх вартості;
- трансформація відбувається коштом користувачів електричних мереж із застосуванням державної підтримки на умовах конкурсу [16, 37].

Зазначене висуває на передній план перш за все забезпечення надійного електропостачання користувачів що, певною мірою впливає як на склад Microgrid, так і кількісні характеристики окремих її елементів і режими їх роботи.

Відомості про склад обладнання дослідженої Microgrid, схему якої зображено на **рис. 1**, наведено в **табл. 1**.

Наведена на **рис. 1** Microgrid еволюційно розвивалася від резервної ДЕС до повноцінної Microgrid, збільшуючи в процесі еволюції як кількість фотоелектричних модулів, так і ємність накопичувача енергії. Досліджувана Microgrid набула наведених в **табл. 1** характеристик в кінці 2023 року. Вартісні показники Microgrid наведено в **табл. 1**.

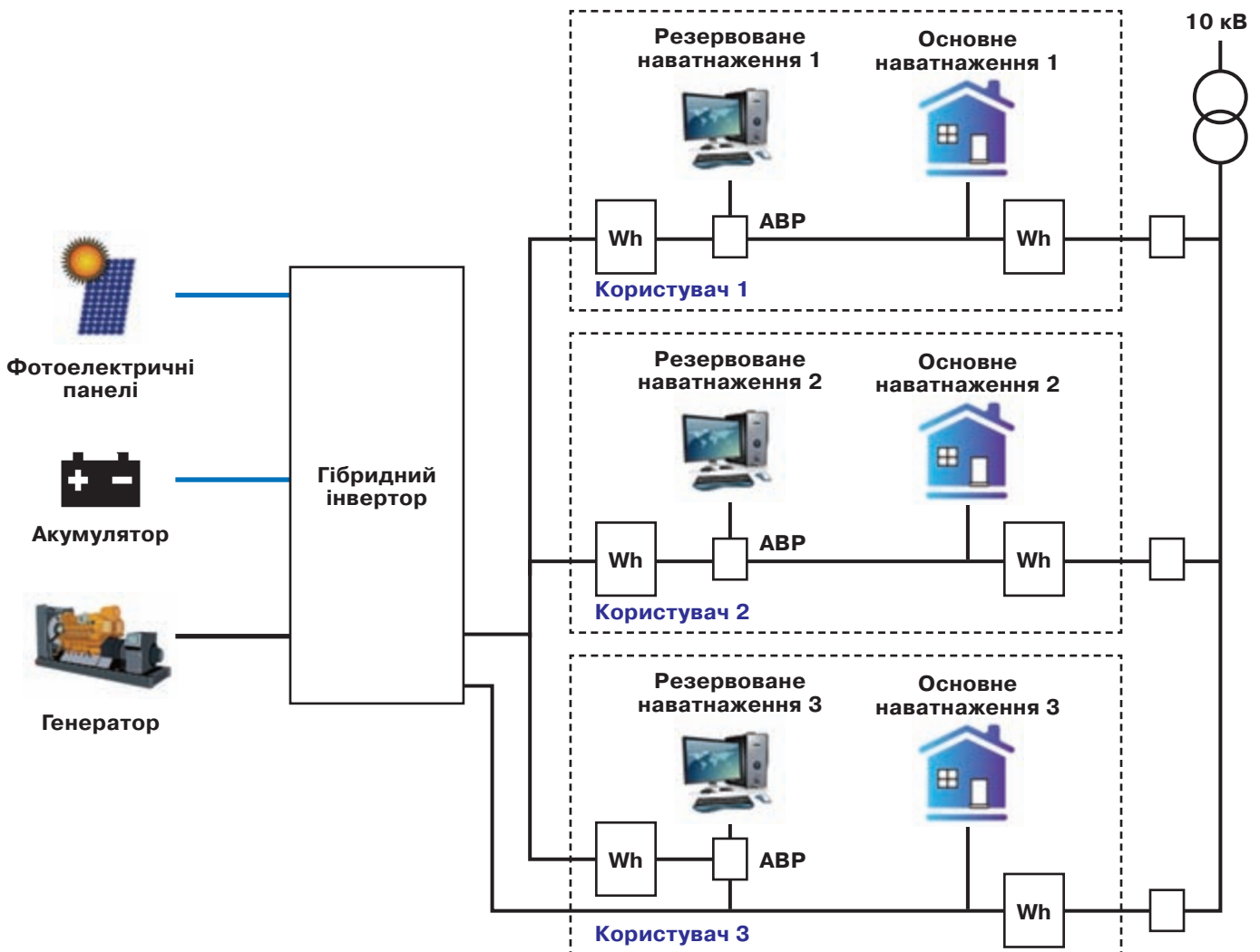


Рис. 1. Схема Microgrid

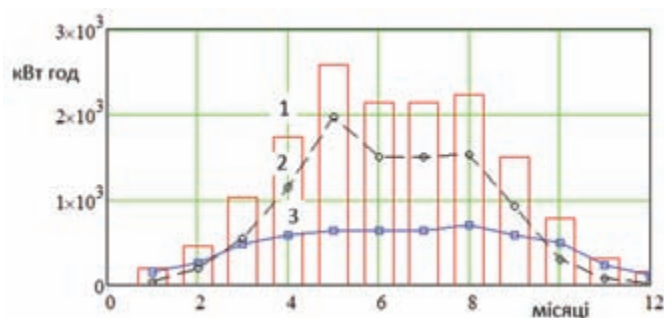
Таблиця 1. Склад Microgrid

| Обладнання                      | Марка                      | Кількість | Вартість, грн |
|---------------------------------|----------------------------|-----------|---------------|
| ДЕС                             | MADEK (MD12P)              | 1         | 248000        |
| Фотоелектричні модулі           | TrinaSolar Vertex 5        | 42        | 262000        |
| Гібридний інвертор              | Deye SUN 12 кВт            | 1         | 133000        |
| Накопичувач енергії             | BVC Eco Battery, 6 кВт-год | 4         | 400000        |
| Щити автоматики                 | За замовленням             | 3         | 28000         |
| Дахова система кріплень         | Комплект                   | 1         | 33000         |
| Кабельно-провідникова продукція | Комплект                   | 1         | 10000         |
| Доставка і монтаж               | Комплект                   | 1         | 57000         |
| Лічильники комерційного обліку  | GAMA 300 G3B/144           | 3         | 51000         |
| Лічильники технічного обліку    | НІК 230ЗЛР6Т               | 3         | 12000         |

## СПОСТЕРЕЖУВАНІ РЕЖИМИ РОБОТИ MICROGRID

**Ретроспективні дані.** Приєднання Microgrid до мережі оператора системи розподілу (ОСР) виконано відповідно до **рис. 1**. Дозволена до використання кожним із користувачів потужність становить 15 кВт. В навантаженнях користувачів виділено резервовані навантаження, що живляться від шини гарантованого живлення. Відомості про обмін енергією між Microgrid і мережею ОСР наведено в **табл. 2**. Відомості щодо обмінів енергією між компонентами Microgrid наведено в **табл. 3**.

Наведені нижче розрахунки виконано виходячи з припущень про незмінність цін, технологій і спостережуваних протягом дослідної експлуатації описаної вище Microgrid графіків споживання та генерації електричної енергії. Відповідно до [31–33] у якості критерію ефективності інвестицій вибрано інтегральний ефект за тривалості розрахункового періоду у 20 років. Оскільки Microgrid створювалася в існуючій мережі, питання зовнішнього електропостачання



**Рис. 2.** Внутрішній обмін електричною енергією в Microgrid по місяцях 2024 року: **1** — вироблено фотоелектричними панелями, кВт-год; **2** — використано в Microgrid, кВт-год; **3** — надано до зовнішньої мережі, кВт-год

(характеристик і вартості спорудження зовнішніх мереж, режимів їх роботи і втрат електричної енергії) у цій роботі детально не досліджувались.

**Режим роботи з ДЕС.** До 2023 року ДЕС використовувалася для резервування живлення електроприймачів першої категорії надійності електро-

Таблиця 2. Зовнішній обмін електричною енергією суб'єктами Microgrid у 2024 році

| Місяць | Споживання із зовнішньої мережі за адресами Microgrid, кВт-год |      |       |              |      |       |              |      |       | Видача в зовнішню мережу 0,4 кВ від Microgrid, кВт-год |     |       |
|--------|--|------|-------|--------------|------|-------|--------------|------|-------|--|-----|-------|
|        | Користувач 2   |      |       | Користувач 1 |      |       | Користувач 3 |      |       |  |     |       |
|        | день   | ніч  | разом | день         | ніч  | разом | день         | ніч  | разом | день   | ніч | разом |
| 1      | 263  | 132  | 395   | 1548         | 880  | 2428  | 0            | 803  | 804   | 2  | 0   | 2     |
| 2      | 180  | 107  | 287   | 1050         | 682  | 1732  | 0            | 508  | 508   | 183  | 0   | 183   |
| 3      | 190  | 142  | 332   | 646          | 550  | 1196  | 8            | 384  | 392   | 506  | 1   | 507   |
| 4      | 188  | 99   | 287   | 378          | 441  | 828   | 12           | 236  | 248   | 911  | 0   | 911   |
| 5      | 181  | 128  | 309   | 254          | 425  | 679   | 7            | 144  | 151   | 1920   | 0   | 1920  |
| 6      | 148  | 134  | 382   | 662          | 795  | 662   | 57           | 150  | 207   | 795  | 0   | 795   |
| 7      | 347  | 189  | 536   | 608          | 917  | 1525  | 962          | 872  | 1834  | 727  | 0   | 727   |
| 8      | 357  | 211  | 568   | 882          | 1166 | 2048  | 846          | 688  | 1534  | 785  | 0   | 785   |
| 9      | 387  | 201  | 588   | 1060         | 1034 | 2094  | 453          | 369  | 822   | 370  | 0   | 370   |
| 10     | 363  | 183  | 546   | 737          | 559  | 1296  | 440          | 358  | 698   | 266  | 0   | 266   |
| 11     | 381  | 205  | 586   | 927          | 550  | 1477  | 362          | 295  | 657   | 42   | 0   | 42    |
| 12     | 448  | 259  | 707   | 1115         | 572  | 1687  | 432          | 216  | 887   | 2  | 0   | 2     |
| Разом  | 2241   | 1343 | 3684  | 7088         | 6890 | 13192 | 2345         | 4154 | 6500  | 6199   | 1   | 6200  |

Таблиця 3. Внутрішній обмін електричною енергією в Microgrid у 2024 році

| Місяць | Енергія з ВДЕ, кВт-год              |   |                            | Енергія, кВт-год |                   | Отримано з мережі OCP, % |
|--------|-------------------------------------|---|----------------------------|------------------|-------------------|--------------------------|
|        | вироблено фотоелектричними панелями | використано на власні потреби користувача 1 | подано до мережі Microgrid | спожито всього   | отримано з мережі |                          |
| 1      | 201                                 | 158   | 43                         | 3626             | 3424              | 94,4                     |
| 2      | 455                                 | 258   | 197                        | 2527             | 2071              | 82,0                     |
| 3      | 1035                                | 489   | 546                        | 1920             | 885               | 46,1                     |
| 4      | 1736                                | 593   | 1143                       | 535              | -1200             | -224,3                   |
| 5      | 2588                                | 643   | 1975                       | 460              | -2157             | -469,0                   |
| 6      | 2143                                | 641   | 1502                       | 1095             | -1048             | -95,7                    |
| 7      | 2145                                | 645   | 1500                       | 3168             | 1022              | 32,3                     |
| 8      | 2228                                | 705   | 1523                       | 3365             | 1137              | 33,8                     |
| 9      | 1505                                | 582   | 923                        | 3134             | 1629              | 52,                      |
| 10     | 789                                 | 495   | 294                        | 2374             | 1585              | 66,7                     |
| 11     | 310                                 | 235   | 75                         | 2678             | 2368              | 88,4                     |
| 12     | 151                                 | 123   | 28                         | 3935             | 3784              | 96,2                     |
| Разом  | 15310                               | 5567  | 9743                       | 28817            | 13501             |                          |

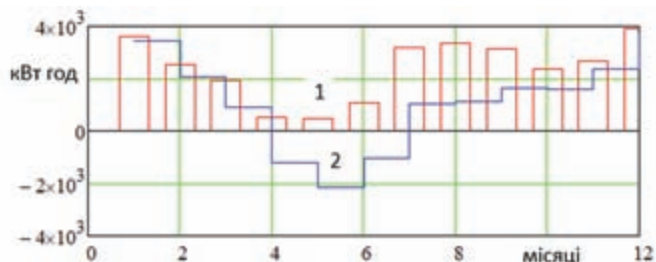


Рис. 3. Зовнішній обмін електричною енергією в Microgrid по місяцях 2024 року: 1 — спожито всього, кВт-год; 2 — отримано із зовнішньої мережі, кВт-год

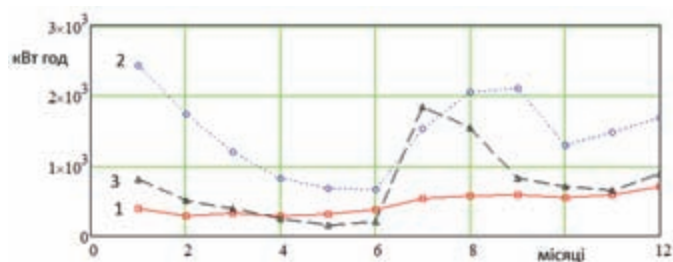


Рис. 4. Споживання електричної енергії користувачами Microgrid по місяцях 2024 року: 1 — користувач 1; 2 — користувач 2; 3 — користувач 3

постачання користувачів (водопостачання, водо-відведення, автоматика і циркуляційні насоси системи опалення, резервоване освітлення тощо). Характеристики надійності електричної мережі оператора системи розподілу, до якої було приєднано користувачі, відповідали необхідним вимогам і не обумовлювали регулярного використання ДЕС. З початком війни ситуація змінилася — через руйнування об'єктів електричних мереж перерви в електропостачанні стали частими, тривалими, непередбачуваними. Потреба використання резервного джерела електричної енергії зростає, зростає і потреба в первинному паливі. За навантаження у 100% ДЕС витрачає 4,5 л/год, а за навантаження у 75% — 3,75 л/год, що обумовлює собівартість виробленої електричної енергії в межах 23–25 грн/кВт-год (з урахуванням витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт, не враховуючи інвестиційних витрат).

Інтегральний ефект (званий також *NPV* — *net present value*) від використання встановленої ДЕС можна визначити за формулою

$$NPV1 = -K_{DEC} + \sum_{t=1}^t \{ [Z \cdot t_z \cdot N_z \cdot P_{mean} - (T_n \cdot W_n + T_d \cdot W_d + T_{DEC} \cdot W_{DEC})] / (1 + d)^t \}, \quad (1)$$

де  $K_{DEC}$  — вартість придбання та встановлення ДЕС, грн;  $Z=10,4$  \$/кВт-год — питомі збитки користувачів житлово-комунального господарства у разі їх повного знеструмлення [38];  $t_z$  — середньорічна тривалість одного вимкнення, год;  $N_z$  — кількість випадків повного знеструмлення, од.;  $P_{mean}$  — середньорічна потужність користувачів, кВт;  $T_n$  — середньорічний нічний тариф, грн/кВт-год;  $W_n$  — річне споживання за нічним тарифом, кВт-год;  $T_d$  — середньорічний денний тариф, грн/кВт-год;  $W_d$  — річне споживання за денним тарифом, кВт-год;  $T_{DEC}$  — собівартість генерації ДЕС, грн/кВт-год;  $W_{DEC}$  — річне споживання генерованої ДЕС електроенергії, кВт-год;  $d$  — норма дисконту, в.о.

**Примітка 1.** Питомі збитки користувачів житлово-комунального господарства  $Z$  у разі їх повного знеструмлення у розмірі 10,4 \$/кВт-год прийнято відповідно до додатку 3 [38].

**Примітка 2.** Величини  $t_z$  і  $N_z$ , що входять до рівняння (1), визначено за результатами спостережень протягом 2024 року.

Результати розрахунку наведено на рис. 5.

Інтегральний ефект, як видно на рисунку, у розглянутих умовах протягом розрахункового періоду у 20 років залишається від'ємним, що зумовлює удосконалення складу і режимів роботи Microgrid.

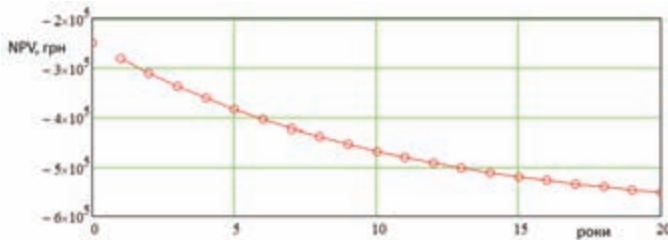


Рис. 5. Зміна інтегрального ефекту по роках експлуатації ДЕС

**Режим роботи з ФЕС.** Інтегральний ефект NPV у разі доповнення встановленої ДЕС ідеальною ФЕС з накопичувачем та гібридним інвертором відповідно до схеми рис. 1 можна визначити за формулою

$$NPV2 = -K_{DEC} - K_{CEC} + \sum_{t=1}^t \{ [Z \cdot t_z \cdot N_z \cdot P_{mean} + T_{CEC} \cdot W_{CEC} - (T_n \cdot W_n + T_d \cdot W_d)] / (1 + d)^t \}, \quad (2)$$

де  $K_{DEC}$  — вартість придбання та встановлення ДЕС, грн;  $K_{CEC}$  — вартість придбання та встановлення ФЕС, грн;  $Z=10,4$  \$/кВт·год — питомі збитки користувачів житлово-комунального господарства у разі їх повного знеструмлення;  $t_z$  — середньорічна тривалість одного вимкнення, год;  $N_z$  — кількість випадків повного знеструмлення, од.;  $P_{mean}$  — середньорічна потужність користувачів, кВт;  $T_{CEC}$  — закупівельна ціна генерованої ФЕС електричної енергії, грн/кВт·год;  $W_{CEC}$  — річна видача в мережу ОСР генерованої ФЕС електроенергії, кВт·год;  $T_n$  — середньорічний нічний тариф, грн/кВт·год;  $W_n$  — річне споживання за нічним тарифом, кВт·год;  $T_d$  — середньорічний денний тариф, грн/кВт·год;  $W_d$  — річне споживання за денним тарифом, кВт·год;  $d$  — норма дисконту, в.о.

**Примітка.** Під ідеальною ФЕС тут і далі будемо розуміти таку систему, фотоелектричним перетворювачам і накопичувачам якої не притаманне явище деградації — істотної втрати робочих характеристик протягом терміну експлуатації.

Результати розрахунку наведено на рис. 6. Річна експлуатація такої системи свідчить про те, що у разі перерв в електропостачанні з боку ОСР потреби у використанні ДЕС не виникає (ємності накопичувача, яка чисельно дорівнює подвоєній потужності гібридного інвертора, протягом року було достатньо для задоволення потреб користувачів Microgrid). Це свідчить як про необхідність дослідження тривалості та кількості перерв в електропостачанні, так про можливість оптимізації співвідношення між потужністю гібридного інвертора та ємністю накопичувача і впливу цього співвідношення на термін окупності улаштування Microgrid.

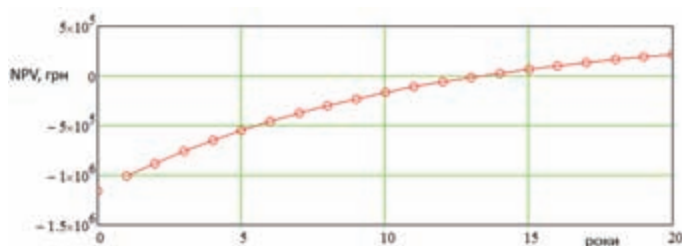


Рис. 6. Зміна інтегрального ефекту по роках експлуатації ФЕС і ДЕС

На рис. 6 видно, що термін окупності становить близько 13 років, що перевищує термін експлуатації без деградації фотоелектричних систем [39] і накопичувачів енергії [40]. На наш погляд значною мірою це обумовлено невідповідністю тарифоутворення в електроенергетиці ринковим засадам. Щоб упевнитись у тому достатньо порівняти ціни на електричну енергію [41]:

- малі побутові споживачі, приєднані до електричних мереж ОСР — 10,34 грн/кВт·год (з ПДВ);
- малі побутові споживачі, приєднані до електричних в м. Києві — 9,26 грн/кВт·год (з ПДВ);
- малі побутові споживачі, приєднані до електричних мереж АТ “УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ” — 10,42 грн/кВт·год (з ПДВ);
- індивідуальні та колективні побутові споживачі — 4,32 грн/кВт·год (з ПДВ).

За наявності обліку споживання електроенергії за періодами часу [41] розрахунки індивідуальних та колективних побутових споживачів проводяться за відповідними тарифами та такими тарифними коефіцієнтами (за вибором споживача):

1) за двозонними тарифами, диференційованими за періодами часу:

- 0,5 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23-ї до 7-ї години);
- повний тариф у інші години доби;

2) за тризонними тарифами, диференційованими за періодами часу:

- 1,5 тарифу в години максимального навантаження енергосистеми (з 8-ї до 11-ї години і з 20-ї до 22-ї години);
- повний тариф у напівпіковий період (з 7-ї до 8-ї години, з 11-ї до 20-ї години, з 22-ї до 23-ї години);
- 0,4 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23-ї до 7-ї години).

Останні обставини — двозонні та тризонні тарифи — відкривають нові можливості щодо удосконалення режимів роботи Microgrid і вимагають додаткового обґрунтування.

## УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ MICROGRID

### Однократне використання накопичувача.

Інтегральний ефект NPV Microgrid у складі відповідно до рис. 1 у разі використання накопичувача енергії можна визначити за формулою

$$NPV3 = -K_{DEC} - K_{CEC} + \sum_{t=1}^t \{ [Z \cdot t_z \cdot N_z \cdot P_{mean} + T_{CEC} \times W_{CEC} + T_{CEC} \cdot W_S \cdot D_S - (T_n \cdot W_n + T_d \cdot W_d)] / (1 + d)^t \}, \quad (3)$$

де  $K_{DEC}$  — вартість придбання та встановлення ДЕС, грн;  $K_{CEC}$  — вартість придбання та встановлення ФЕС, грн;  $Z=10,4$  \$/кВт·год — питомі збитки користувачів житлово-комунального господарства у разі їх повного знеструмлення;  $t_z$  — середньорічна тривалість одного вимкнення, год;  $N_z$  — кількість випадків повного знеструмлення, од.;  $P_{mean}$  — середньорічна потужність користувачів, кВт;  $T_{CEC}$  — закупівельна ціна генерованої ДЕС електричної енергії, грн/кВт·год;

$W_{CEC}$  — річна видача в мережу ОСР генерованої ФЕС електроенергії, кВт·год;  $W_S$  — кількість електричної енергії, що вивільнено з накопичувача за один розряд, кВт·год;  $D_S=275$  — очікувана протягом року кількість днів, коли накопичувач може бути розряджений на мережу ОСР до 23.00 після денного накопичення енергії;  $T_n$  — середньорічний нічний тариф, грн/кВт·год;  $W_n$  — річне споживання за нічним тарифом, кВт·год;  $T_d$  — середньорічний денний тариф, грн/кВт·год;  $W_d$  — річне споживання за денним тарифом, кВт·год;  $d$  — норма дисконту, в.о.

Результати розрахунку за формулою (3) наведено на рис. 7. На рисунку видно, що термін окупності становить близько 8,5 років.

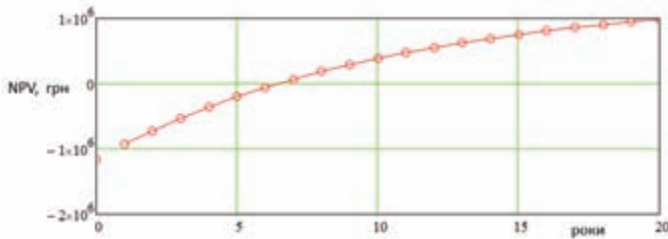


Рис. 7. Зміна інтегрального ефекту по роках експлуатації ФЕС, ДЕС і накопичувача

**Двократне використання накопичувача.** Інтегральний ефект NPV Microgrid у складі відповідно до рис. 1 у разі двократного використання протягом доби накопичувача енергії можна визначити за формулою

$$NPV4 = -K_{DEC} - K_{CEC} + \sum_{t=1}^t \{ [Z \cdot t_z \cdot N_z \cdot P_{mean} + T_{CEC} \cdot W_{CEC} + T_{CEC} \cdot W_S \cdot D_S + 365 \cdot W_S \cdot (T_{CEC} - T_n) - (T_n \cdot W_n + T_d \cdot W_d)] / (1 + d)^t \}, \quad (4)$$

де  $K_{DEC}$  — вартість придбання та встановлення ДЕС, грн;  $K_{CEC}$  — вартість придбання та встановлення ФЕС, грн;  $Z=10,4$  \$/кВт·год — питомі збитки користувачів житлово-комунального господарства у разі їх повного знеструмлення;  $t_z$  — середньорічна тривалість одного вимкнення, год;  $N_z$  — кількість випадків повного знеструмлення, од.;  $P_{mean}$  — середньорічна потужність користувачів, кВт;  $T_{CEC}$  — закупівельна ціна генерованої ДЕС електричної енергії, грн/кВт·год;  $W_{CEC}$  — річна видача в мережу ОСР генерованої ФЕС електроенергії, кВт·год;  $W_S$  — кількість електричної енергії, що вивільнено з накопичувача за один розряд, кВт·год;  $D_S=275$  — очікувана протягом року кількість днів, коли накопичувач може бути розряджений на мережу ОСР до 23.00 після

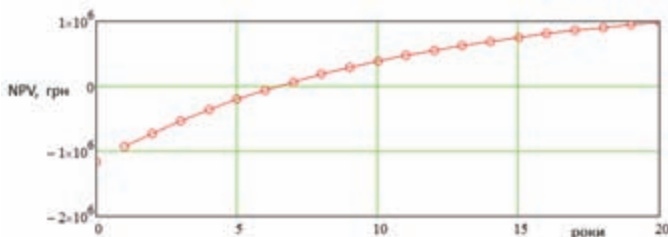


Рис. 8. Зміна інтегрального ефекту по роках експлуатації ФЕС, ДЕС і накопичувача

денного накопичення енергії;  $T_n$  — середньорічний нічний тариф, грн/кВт·год;  $W_n$  — річне споживання за нічним тарифом, кВт·год;  $T_d$  — середньорічний денний тариф, грн/кВт·год;  $W_d$  — річне споживання за денним тарифом, кВт·год;  $d$  — норма дисконту, в.о.

Результати розрахунку за формулою (4) наведено на рис. 8. На рисунку видно, що термін окупності становить близько 6,5 років.

**ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ**

Результати розрахунку NPV розглянутих вище варіантів наведено на рис. 9.

**Склад Microgrid.** На рис. 9 видно, що за нинішніх тарифів на електричну енергію, вартості первинних енергоносіїв (дизельного палива) та питомих збитків від перерв в електропостачанні використання Microgrid з ДЕС не має розумних термінів окупності інвестицій. Граничні значення перерахованих чинників можуть бути визначені як розв'язки рівняння (1) для випадку  $NPV=0$  при заданому терміні окупності інвестицій.

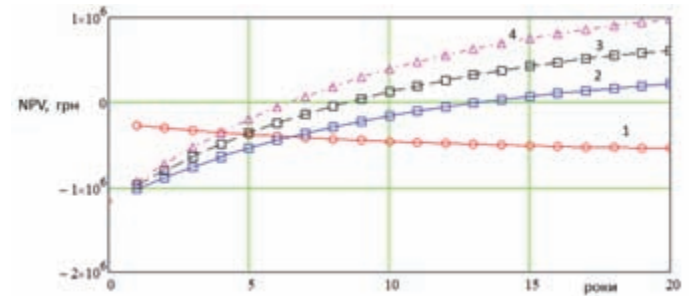


Рис. 9. Зміна інтегрального ефекту Microgrid по роках експлуатації у разі використання в якості джерел енергії: 1 — ДЕС; 2 — ФЕС; 3 — ФЕС і ДЕС; 4 — ФЕС, ДЕС і накопичувача

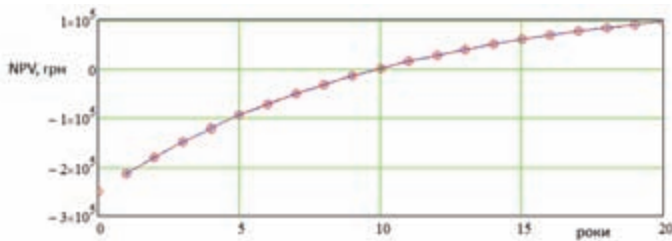
Для визначення граничних значень перерахованих чинників (собівартість генерації та питомі збитки) прирівняємо рівняння (1) до нуля і розв'яжемо його відносно досліджуваних складових для терміну окупності  $t=10$  років

$$0 = -K_{DEC} + \sum_{t=1}^{t=10} \{ [Z \cdot t_z \cdot N_z \cdot P_{mean} - (T_n \cdot W_n + T_d \cdot W_d + T_{DEC} \cdot W_{DEC})] / (1 + d)^t \}. \quad (5)$$

В результаті розв'язання отримуємо граничні значення питомих збитків  $Z=537,45$  грн/кВт·год або собівартості генерації ДЕС  $T_{DEC}=11,41$  грн/кВт·год, за яких інтегральний ефект досягає нульового значення, що визначає термін окупності інвестицій у 10 років. На рис. 10 наведено зміну інтегрального ефекту Microgrid по роках експлуатації для цих випадків (на рисунку видно, що залежності співпадають).

Отримане значення питомих збитків  $Z$  перевищує розумні межі [38].

Отримане значення собівартості генерації  $T_{DEC}=11,41$  грн/кВт·год може бути досягнуто у разі використання газопоршневих електрогенераторів, які мають сумірні з ДЕС показники початкових інвестицій, ККД та вартості обслуговування проте використовують більш дешево паливо — природний



**Рис. 10.** Зміна інтегрального ефекту Microgrid по роках експлуатації у разі використання в якості джерел енергії ДЕС за граничних значень питомих збитків  $Z=537,45$  грн/кВт·год або собівартості генерації ДЕС  $T_{DEC}=11,41$  грн/кВт·год

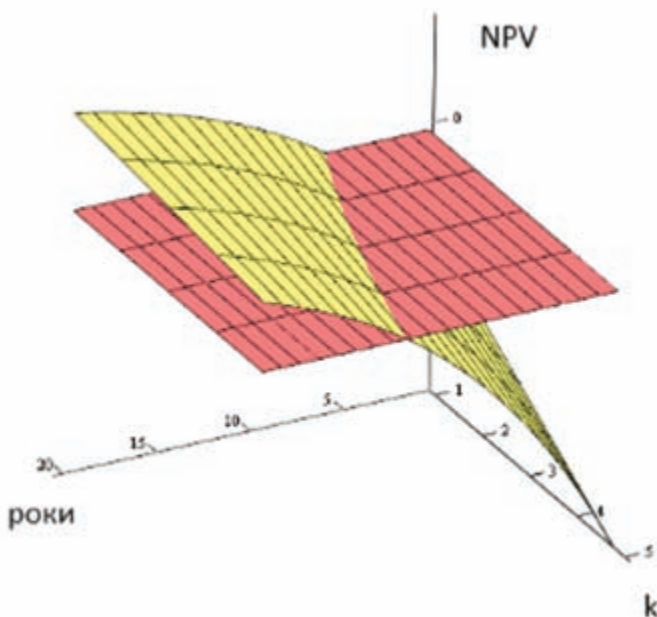
газ (дизельне паливо має питому теплоту згорання  $11,9$  кВт·год/л по ціні  $56$  грн/л, що еквівалентно  $1,3$  м<sup>3</sup> природного газу з питомою теплотою згорання —  $9,3$  кВт·год/м<sup>3</sup> і ціною  $7,8$  грн/м<sup>3</sup> [42]).

З наведеного випливає доцільність застосування в Microgrid саме газопоршневих електрогенераторів, що поряд з електричним ККД понад  $44\%$ , десятирічним терміном експлуатації до капітального ремонту та можливістю працювати вже зараз на суміші газів (природний газ, пропан — бутан, звальщний газ, біогаз тощо) з воднем [43] має переваги у вигляді можливості пристосування для роботи виключно на водні (використання водню в якості первинного палива вирішує проблеми викиду вуглецю та утилізації надлишку електричної енергії, що виробляється ВЕС і ФЕС, в процесах вироблення водню шляхом електролізу води).

Недостатньо дослідженим, на наш погляд, залишилося питання найкращого співвідношення між ємністю накопичувача та потужністю інвертора ФЕС (див., наприклад [44, 45]).

Результати зміни інтегрального ефекту (жовта поверхня на **рис. 11**) за формулою

$$NPV41_{t,k} = -K_{DEC} - K_{CEC} \cdot k + \sum_{t=1}^t \{ [Z \cdot t_Z \cdot N_Z \cdot P_{mean} +$$



**Рис. 11.** Зміна інтегрального ефекту NPV у разі зміни ємності накопичувача

$$+ T_{CEC} \cdot W_{CEC} + T_{CEC} \cdot W_S \cdot D_S \cdot k + 365 \cdot W_S \cdot (T_{CEC} - T_n) \cdot k - (T_n \cdot W_n + T_d \cdot W_d) / (1 + d)^t \}, \quad (6)$$

де  $k=1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$ ,

свідчать про зростання терміну окупності за існуючих цін на обладнання у разі збільшення ємності накопичувача (лінія перетину поверхні інтегрального ефекту і площини  $NPV=0$  коралового кольору на **рис. 11**).

**Режими роботи Microgrid.** На **рис. 9** видно, що використання у складі дослідженої Microgrid ФЕС і накопичувачів, залежно величини та організованого режиму роботи накопичувача, забезпечує термін окупності інвестицій в межах  $6,5$ – $13,5$  років. Як було зазначено вище, у цьому дослідженні не розглядаються зовнішні мережі оператора системи розподілу (ОСП), які вже були побудовані з достатньою пропускнуою здатністю. У разі проектування нових мереж викладені в [46–47] положення щодо розрахункових активних навантажень елементів електричної мережі повинні бути доповнені визначеними відповідно до [48–49] активними потужностями генерації ФЕС (або ВЕС), які у разі однотипних користувачів мережі зі знаком мінус враховують у формулі

$$P_t = n \cdot \bar{P}_t + \sqrt{n} \cdot \beta \cdot \sigma_{P,t} - m \cdot \bar{P}_{CEC,t} - \sqrt{m} \cdot \beta \cdot \sigma_{CEC,t} \quad (7)$$

де  $\bar{P}_t$  — математичне сподівання активного навантаження в годину  $t$ , кВт;  $n$  — кількість однотипних навантажень, одиниць;  $\beta=1,3 \div 2,0$  — коефіцієнт надійності, в.о.;  $\sigma_{P,t}$  — середнє квадратичне відхилення активного навантаження в годину  $t$ , кВт;  $m$  — кількість однотипних генеруючих одиниць, од.;  $\bar{P}_{CEC,t}$  — математичне сподівання генерації активної потужності в годину  $t$ , кВт;  $\sigma_{CEC,t}$  — середнє квадратичне відхилення генерації активної потужності в годину  $t$ , кВт.

**Моделі з деградацією.** Як було зазначено вище, у цьому дослідженні розглянуто Microgrid без деградації найбільш схильних до такого явища складових — фотоелектричних панелей та акумуляторних батарей [40]. З урахуванням деградації зазначених елементів рівняння (4) набуде вигляду

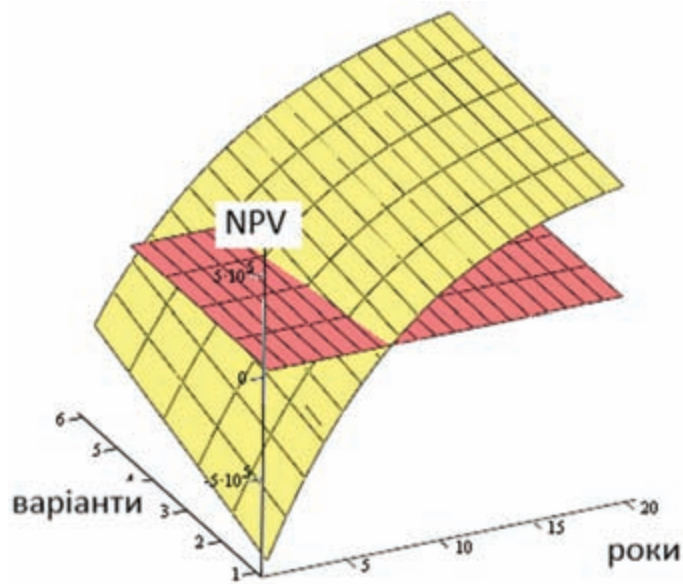
$$NPV41_{t,k} = -K_{DEC} - K_{CEC} \cdot ss_m + \sum_{t=1}^t \{ [Z \cdot t_Z \cdot N_Z \cdot P_{mean} + T_{CEC} \cdot W_{CEC} \cdot s_t + T_{CEC} \cdot W_S \cdot D_S \cdot s_t + 365 \cdot W_S \times (T_{CEC} - T_n) \cdot s_t - (T_n \cdot W_n + T_d \cdot W_d) / (1 + d)^t \}, \quad (8)$$

де  $ss_m$  — коефіцієнт, що враховує ступінь зменшення інвестицій у разі застосування обладнання більш схильного до деградації за  $m$ -тим варіантом, в.о.;  $s_t$  — коефіцієнт, що враховує зменшення корисного ефекту у рік  $t$  експлуатації внаслідок деградації корисних властивостей елементів Microgrid.

Результати розрахунку наведено на **рис. 12**.

На **рис. 12** видно, що за розглянутих умов деградація не є суттєвим фактором, що впливає на термін окупності. Проте, за інших умов [29, 30] ці чинники можуть бути вагомими.

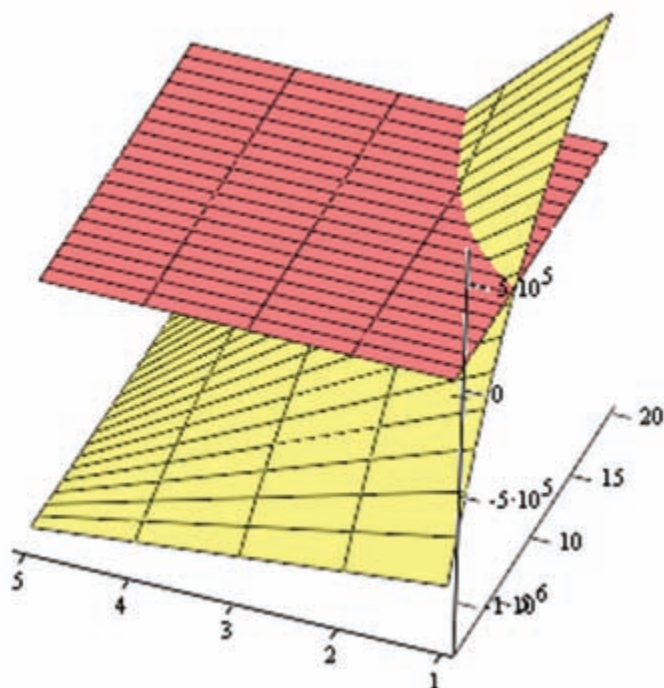
**Моделі зі змінними тарифами.** Наразі роздрібні ціни на електричну енергію в Україні визначають з урахуванням загальносуспільного інтересу, для забезпечення якого на учасників ринку покла-



**Рис. 12.** Зміна NPV і терміну окупності інвестицій у разі врахування деградації

даються спеціальні обов'язки [16, 50], що полягають у наданні послуг із забезпечення доступності електричної енергії для побутових споживачів. Кінцева ціна на електроенергію для побутових споживачів, визначена в [50], є нижчою ніж для більшості непобутових споживачів, яку визначають з урахуванням оптової ціни, тарифу на передачу електричної енергії, тарифу на розподіл електричної енергії, маржі електропостачальника та податків, і не покриває усіх складових витрат на виробництво і постачання електричної енергії. Наразі для другого класу напруги (до 27,5 кВ) вона становить 9,26–11,12 грн/кВт·год [51].

На **рис. 13** наведено зміну NPV у разі зростання ціни на електричну енергію в діапазоні 1–3



**Рис. 13.** Зміна NPV і терміну окупності інвестицій у разі зростання ціни на електричну енергію

рази (поверхня жовтого кольору). Термін окупності інвестицій визначається за лінією перетину поверхні  $NPV=F(T_n, T_d)$  і площини  $NPV=0$  (коралового кольору).

Як видно на **рис. 13**, зростання ціни на електричну енергію веде до зростання терміну окупності та виходу його значень за розумні межі.

**Удосконалення законодавства.** Із **табл. 3** видно, що з вироблених фотоелектричними панелями 15310 кВт·годин на власні потреби використано 5567 кВт·годин, що становить 36,4%.

Розпорядженням Кабінету Міністрів України схвалено Енергетичну стратегію України на період до 2050 року [1], яка визначає індикативні показники майбутнього розвитку відновлюваної енергетики. Серед них — досягнення частки 27% енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії, до 2030 року у валовому кінцевому споживанні енергії, 70% енергії з відновлюваних джерел у загальному первинному постачанні енергії до 2050 року та наближення до кліматичної нейтральності до 2060 року. На наш погляд термін “кінцеве споживання енергії” вимагає окремого розгляду.

Зазвичай під “кінцевим споживанням електричної енергії” мають на увазі обсяг енергії, яка використовується безпосередньо кінцевими споживачами для задоволення їхніх потреб. Це може включати споживання у побутовому секторі (наприклад, для освітлення, опалення тощо), промисловості (виробничі процеси), транспорті (електричні транспортні засоби), а також у комерційному та державному секторах. Кінцеве споживання не включає втрати електричної енергії при її передачі та розподілі електричними мережами, а також власні потреби електростанцій та підстанцій.

Як видно із **рис. 1** і **табл. 3** значна частина виробленої в Microgrid з використанням ВДЕ електричної енергії не обліковується лічильниками і не враховується в кінцевому споживанні, що є неприпустимим з погляду на взяті Україною зобов'язання доведення до 2030 року використання ВДЕ в кінцевому споживанні до 27%. Це зумовлює удосконалення як нормативно-правових актів, які визначають взаємовідносини на ринку електричної енергії, так і нормативних документів, які визначають вимоги до обладнання та програмного забезпечення.

До уваги слід взяти, що обсяги кінцевого споживання не враховуються в господарських операціях, тому засоби вимірювальної техніки і програмне забезпечення, за допомогою яких вони можуть бути визначені, не підпадають під вимоги законодавчої метрології, що може суттєво скоротити витрати на ці заходи.

## ВИСНОВКИ

**1.** За результатами експлуатації доведено можливість і доцільність інтеграції ФЕС з накопичувачем енергії та гібридним інвертором у систему резервного живлення на базі ДЕС із задовільним терміном окупності інвестицій. Подальше удосконалення утвореної в такий спосіб Microgrid досягається за рахунок оптимізації режимів її роботи, що зменшує експлуатаційні витрати (зокрема, витрати на пер-

винне паливо) і покращує економічні показники, що підтверджується відповідними розрахунками.

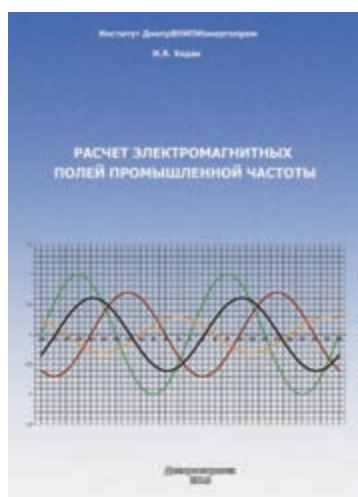
2. Ціни на електроенергію і первинні енергоносії, як показують розрахунки, суттєво впливають на конфігурацію і характеристики складових Microgrid. Результати експлуатації Microgrid свідчать про необхідність і можливість подальшого удосконалення нормативно-правової бази з метою заохочення користувачів до використання ВДЕ.

3. Наведені результати дослідження, які демонструють пов'язаність розглянутих факторів і їх вплив на інтегральний ефект автор не вважає остаточною і планує доповнення поданих на розгляд результатів у наступних публікаціях такими загальноживаними атрибутами керування проектами як аналіз чутливості, перевірка стійкості, пошук точок беззбитковості та врахування невизначеності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетична стратегія України на період до 2050 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. № 373.
2. IEC/TR 63097:2017 Smart grid standardization roadmap.
3. Закон України "Про альтернативні джерел енергії".
4. IEC TS 62898-1: 2017 Microgrids — Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification.
5. IEC TS 62898-1: 2017/AMD 1: 2023 Microgrids — Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification.
6. IEC TS 62898-2: 2018 Microgrids — Part 2: Guidelines for operation.
7. IEC TS 62898-2: 2018 / AMD 1: 2023 Microgrids — Part 2: Guidelines for operation.
8. ДСТУ HD 60364-8-2:2022 Низьковольтні електроустановки. Частина 8-2. Низьковольтні електроустановки Prosumer (HD 60364-82:2018, IDT; IEC 60364-8-2:2018).
9. IEC TS 62898-4: 2023 Microgrids — Part 4: Use cases.
10. Ворушило А.О., Гай О.В. Microgrids в Україні: нагальні завдання створення й удосконалення нормативної бази побудови та експлуатації. Промислова електроенергетика та електротехніка. 2024. № 1(143). 44–47.
11. IEC TS 62898-3-1: 2020 Microgrids — Part 3-1: Technical requirements — Protection and dynamic control.
12. IEC TS 62898-3-1: 2020 / AMD 1: 2023 Microgrids — Part 3-1: Technical requirements — Protection and dynamic control.
13. IEC TS 62898-3-3: 2023 Microgrids — Part 3-3: Technical requirements — Self-regulation of dispatchable loads.
14. IEC TS 62898-3-4: 2023 Microgrids — Part 3-4: Technical requirements — Microgrid monitoring and control systems.
15. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року, затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 13.08.2024 р. № 761-р.
16. Закон України "Про ринок електричної енергії".
17. Кодекс систем розподілу, затверджений постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 310.
18. Правила роздрібного ринку електричної енергії, затверджені постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 310.
19. Позиційний документ ENTSO-E Гнучкість від ВДЕ. Остаточний проект від 31 січня 2025 р. : WG MDRES (підгрупа RES Flex).
20. IEC 60050 International Electrotechnical Vocabulary (all parts)/ — Міжнародний електротехнічний словник (усі частини).
21. Abenezzer Bekele, Baseem Khan, Mohamed Ali Zdiri, Josep M. Guerrero, Sanjay Chaudhary, Juan C. Vasquez & Gibran David Agundis Tinajero. Optimal planning and sizing of microgrid cluster for performance enhancement. <https://www.nature.com/articles/s41598-024-75906-z> (лютий 2025).
22. He, Y. et al. Economic optimization Scheduling based on load demand in Microgrids considering source network load storage. *Electronics*. 12 (12), 2721. <https://doi.org/10.3390/electronics12122721> (Jun. 2023).
23. Das, J. Optimal component sizing of an isolated PV-Wind-battery microgrid in India using Multi Objective Optimisation. 2020 IEEE 17th India Counc. Int. Conf. INDICON 2020. 1 <https://doi.org/10.1109/INDICON49873.2020.9342122> (2020).
24. Li, X. & Jones, G. Optimal sizing, location, and assignment of photovoltaic distributed generators with an Energy Storage System for Islanded Microgrids. *Energies*. 15 (18). <https://doi.org/10.3390/en15186630> (Sep. 2022).
25. Borghei, M. & Ghassemi, M. Optimal planning of microgrids for resilient distribution networks. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 128 <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106682> (Jun. 2021).
26. Barkouki, B. E. et al. Jun., An Economic Dispatch for a Shared Energy Storage System Using MILP Optimization: A Case Study of a Moroccan Microgrid. *Energies*, vol. 16, no. 12, p. 4601, doi: (2023). <https://doi.org/10.3390/en16124601>
27. Dinkhah, S., Salazar Cuellar, J. & Khanbaghi, M. Optimal Power and Frequency Control of Microgrid Cluster with mixed loads. *IEEE Open Access. J. Power Energy*. 9, 143–150. <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2022.3148375> (2022).
28. Edisson Garcia Vera, Y., Dufo-Lopez, R., Daniel Diaz, O. & Castillo Oct., Optimization and feasibility of standalone hybrid dieselpv-battery microgrid considering battery technologies, in 2020 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2020, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., doi: <https://doi.org/10.1109/ANDESCON50619.2020.9272144>. (2020).
29. Masaud, T. M. & El-Saadany, E. F. Correlating optimal size, cycle life estimation, and Technology Selection of batteries: a two-stage Approach for Microgrid Applications. *IEEE Trans. Sustain. Energy*. 11 (3), 1257–1267. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2019.2921804> (2020).
30. León, L. M., Romero-Quete, D., Merch n, N. & Cort s, C. A. Optimal design of PV and hybrid storage based microgrids for healthcare and government facilities connected to highly intermittent utility grids. *Appl. Energy*. 335, 120709. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120709> (2023).
31. ГКД 340.000.002 — 97 Визначення економічної ефективності капітальних вкладень енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі.
32. Примірний методика визначення вартості життєвого циклу, затверджена наказом Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 28.09.2020 № 1894.
33. Ильин Н.М., Лукманова И.Г и др. Управление проектами. СПб.: "Два-Три", 1996. 610 с.
34. Енергоемність ВВП: [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
35. Атаки на енергетичну інфраструктуру України становлять загрозу ключовим аспектам життя напередодні зими — спостерігачі ООН з прав людини: [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: <https://ukraine.un.org/uk/>
36. Закон України "Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони".
37. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та план заходів з його виконання, затверджений рішенням Кабінету міністрів України від 13.08.2024 № 761-р.
38. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушения электроснабжения потребителей. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 188 с. ISBN 978-5-383-00505-7.
39. Investigation of Degradation of Solar Photovoltaics: A Review of Aging Factors, Impacts, and Future Directions toward Sustainable Energy Management. Tuhibur Rahman, Ahmed Al Mansur, Molla Shahadat Hossain Lipu *Energies* 2023, 16(9), 3706. [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: <https://doi.org/10.3390/en16093706>

40. СОУ НЕК 29.220.1-28:2023 Методичні вказівки щодо техніко-економічного обґрунтування вибору акумуляторних батарей для об'єктів НЕК "Укренерго" / Буйний Р.О., Ворушило А.О., Гажаман В.І., Джума Л.М., Квицинський А.О., Степенко С.В., Ходаківський А.М. Київ: НЕК "Укренерго", 2023. 27 с.
41. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.06.2019 №483 "Про затвердження Положення про покладення спеціальних обов'язків на учасників ринку електричної енергії для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії".
42. Порівняльна таблиця теплотворності деяких видів палива : [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: <https://bioopt.com.ua/ua/a240346-sravnitel'naya-harakteristika-nekotoryh.html>
43. Газопоршневі установки, когенерація: [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: <https://gas-power.madek.ua/>
44. Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В., Трач І.В. Оцінка ефективності використання систем накопичення електроенергії в електричних мережах. Технічна електродинаміка. 2021. № 4. 54. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.04.044>
45. Блінов І.В., Парус Є.В.1, Шиманюк П.В.1, Ворушило А.О. Модель оптимізації функціонування мікромережі з СЕС та установкою зберігання енергії. ISSN 1607-7970. Технічна електродинаміка. 2024. № 6.
46. Р 50-072-98 Методика розрахунку технологічних втрат електроенергії в мережах електропостачання напругою від 0,48 до 110 кВ включно.
47. РД 34.20.178-82 Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения // Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. М., ноябрь 1981 г.
48. Ворушило А.О., Гай О.В. Про режими генерації фотоелектричних станцій. Промислова електроенергетика та електротехніка. 2024. № 1 (143). 32–35.
49. Ворушило А.О., Гай О.В. Про режими генерації вітрових електростанцій. Промислова електроенергетика та електротехніка. 2024. № 1 (143). 28–31.
50. Положення про покладення спеціальних обов'язків на учасників ринку електричної енергії для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 р. № 483 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 31 травня 2024 р. № 632).
51. Рівні ціни на універсальні послуги для побутових та малих непобутових споживачів, у тому числі для побутових та малих непобутових споживачів, які є користувачами малої системи розподілу, що вводяться в дію з 01 березня 2025 року: [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: <https://koec.com.ua/page?root=23>



## РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ

**У** книзі головного спеціаліста-електрика інституту ДніпроВНДПенергопром кандидата технічних наук **І.Я. Ходака** наведені практичні методи розрахунку електричних і магнітних полів, створюваних повітряними і кабельними лініями електропередач та сухими струмообмежувачами реакторами в місцях можливого короткочасного або тривалого перебування людей, тварин мікропроцесорної апаратури. Алгоритми розрахунків дають змогу використовувати загальнодоступні офісні програмні засоби і, за необхідності, виконувати розрахунки для контрольних точок вручну.

Книга розрахована на працівників проектних організацій, експлуатаційний персонал служб підприємств електричних мереж, систем електропостачання підприємств та міст, екологів, працівників санстанцій та інших контролюючих органів.



## ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ ПО ЗБОРУ І ВИДАЧІ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНИХ І ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

**К**нига містить вступ, 12 розділів, додаток і висновок. Всього 119 сторінок. Формат книги кишеньковий. У ній наведено короткий огляд сонячних і вітрових електростанцій, їх функціональні та структурні схеми, характеристики основних елементів. Наведено схеми приєднання СЕС та ВЕС до енергосистеми, схеми підстанцій зв'язку СЕС та ВЕС з енергосистемою, внутрішньостанційні схеми збору потужності від інверторних підстанцій та вітроустановок до підстанцій збору потужності.

Розглянуто питання розрахунку струмів короткого замикання в близьких і віддалених точках короткого замикання, режими заземлення нейтралі в мережі з резисторним заземленням нейтралі, баланси реактивних потужностей. Запропоновано методику розрахунку коефіцієнта несинусоїдальності напруги, викликані генерацією інверторами та перетворювачами частоти струмів вищих гармонік, у т.ч. з урахуванням джерел гармонік в системі.



X МІЖНАРОДНА  
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# НАФТОГАЗ ЕКСПО 2026

**13 – 15  
ЖОВТНЯ**



**Місце проведення:  
МІЖНАРОДНИЙ  
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**  
Київ, Броварський пр-т, 15  
тел.: + 38 (066) 921-47-51  
e-mail: [sher@iec-expo.com.ua](mailto:sher@iec-expo.com.ua)  
[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)





Н.Т. Юнеєва,  
Д-р PhD, доцент,

Інститут  
електродинаміки  
НАН України



Ю.А. Чорний,  
Д-р PhD, доцент,

Навчально-науковий  
інженерно-  
технічний інститут  
ім. академіка  
І.С. Гулого

Національний  
університет  
харчових технологій



## МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ В АСПЕКТІ ЖИВУЧОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Фізичні процеси, які протікають в електроенергетичних системах (ЕЕС) можуть бути описані в загальному вигляді системою диференціальних нелінійних рівнянь і відносяться до динамічних нелінійних систем. Живучість енергосистеми можна визначити як здатність системи зберегти свої функції після завдання їй послідовних збурень (трьох, різного роду аварійних порушень режиму, кібератак, некоректних дій оперативно-диспетчерського персоналу) і далі, протистояти аварійним збуренням, не допускаючи каскадного розвитку аварій із масовим порушенням постачання споживачів. Каскадний розвиток аварій характеризується послідовним відключенням дією релейного захисту або протиаварійної автоматики електромережевого та/або станційного обладнання, спричиненого виникненням неприпустимого для обладнання режиму [1]. Хоча порівняно рідко в енергооб'єднаннях деяких країн мають місце важкі системні аварії, вони набувають характеру національних катастроф. При цьому порушується електропостачання на великих територіях з багатомільйонним населенням, сумарна потужність споживачів, що втратили живлення, вимірюється іноді десятками мільйонів кіловат, а тривалість порушення електропостачання вимірюється годинами з великими матеріальними збитками. Наприклад, аварії: штат Техас, США в лютому 2021 р. (через різке екстремальне похолодання відбулися відмови великої кількості об'єктів в електроенергетичній, газопостачальній та водопостачальній системах); квітень 2025 року в Іспанії та Португалії (масштабний збій у роботі електромереж); липень 2012 року в Індії (близько 620 млн залишилися без електрозабезпечення через колапс енергомереж у східних, північних та північно-східних регіонах країни, відключення електрозабезпечення мало каскадний характер, каталізатором блекауту стало зростання споживання); березень 2015 року у Туреччині (сталася відключення електроенергії на всій території країни через розсинхронізацію мереж західної та східної Туреччини, що збілася з ремонтом ЛЕП); вересень 2003 року (майже на 12 годин було відключено електрозабезпечення на всій території Італії через каскадне відключення, спричинене штормом). Також масштабні аварії мали місце в енергосистемах США, Канади, Індонезії, Пакистану та інших країн. З оглядом на ці аварії і враховуючі сучасні напружені умови роботи ОЕС України, дослідження живучості ЕЕС є актуальним. Одним з напрямів підвищення живучості ЕЕС є дослідження аварійних режимів ЕЕС шляхом їх імітаційного моделювання. Це може здійснюватися за допомогою сучасних програмних комплексів. В Україні широко впроваджується програмне забезпечення PowerFactory для розрахунку мереж електропостачання всіх рівнів, яке розроблено німецькою компанією DlgSILENT GmbH [2]. Також існує вітчизняне програмне забезпечення, наприклад, Програмний комплекс ДАКАР (ТОВ „ЕЛЕКС“), здатний виконувати розрахунки усталених і несиметричних режимів, а також аналіз статичної і динамічної стійкості ЕЕС [3].

**Ключові слова:** нелінійні системи, динамічна та статична стійкість, електрозабезпечення.

**В** Інституті електродинаміки був створений програмний комплекс призначений для розрахунку та аналізу динамічної та статичної стійкості складних ЕЕС, тривалих перехідних процесів, а також доаварійних та післяаварійних стаціонарних режимів ЕЕС.

На єдиній інформаційній моделі забезпечується розв'язання задач: формування та корекція інформаційної бази; розрахунок та аналіз нормальних режимів; розрахунок самовстановлюваних післяаварійних режимів; розрахунок та аналіз динамічної стійкості; розрахунок тривалих перехідних процесів; розрахунок статичної стійкості.

Найбільш простою моделлю синхронної машини, що враховує її динаміку при розрахунках електромеханічних перехідних процесів ЕЕС, але не враховує у явному вигляді електромагнітні процеси та автоматичне регулювання збудження, є представлення машини постійної ЕРС за деякою реактивністю. У цьому випадку перехідний процес машини описується лише рівнянням механічного руху ротора, який може бути записаний

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{T_J} \left( M_M - \frac{P_\theta}{1+s} - k_{s_0} s \right); \quad \frac{d\delta_E}{dt} = s,$$

$$\text{де: } P_M = \frac{E_{CM} U \sin(\delta_E - \theta)}{X_{CM}}.$$

Тут  $U$ ,  $\theta$  — модуль і кут відносно осі відліку (наприклад, вектора напруги балансувального вузла в розрахунку доаварійного режиму, що встановився) вектора напруги синхронної машини;  $\delta_E$  — кут ЕРС  $E_{CM}$  відносно тієї ж осі;  $k_{s_0}$  — коефіцієнт демпфування, призначений для спрощеного врахування електромагнітних, а також інших демпферних моментів, пропорційних відхиленню абсолютної швидкості обертання ротора машини. Аналогічні члени з коефіцієнтами відповідно  $k_{s_y}$  або  $k_s$  вводяться в рів-



няння механічного руху під час розрахунку без урахування демпферних контурів або з їх врахуванням.

Розрахунок перехідного процесу передбачає врахування електричного режиму енергосистеми і його впливу на навантаження у вузлах ЕЕС. Рівняння динаміки окремих машин у вузлах електричної мережі енергосистеми чисельно інтегруються окремо, по черзі на основі моделі індивідуального руху. Використання неявних методів чисельного інтегрування (методів прогнозу і корекції) дозволяє об'єднати диференціальні рівняння динаміки синхронних машин і їх систем регулювання збудження і частоти обертання з системою алгебраїчних рівнянь у комплексній формі, яка описує квазіусталений режим ЕЕС. Апаратом такого об'єднання є ітеративний процес обчислення інтегрованих змінних на етапі корекції, який об'єднується з ітеративним процесом розрахунку системи нелінійних алгебраїчних рівнянь усталеного режиму ЕЕС [4].

Традиційно в розрахунках динамічної стійкості ЕЕС нехтують швидкоплинними електромагнітними процесами в електричній мережі та обмотках статора синхронних машин. Це приводить до того, що модель динаміки ЕЕС перетворюється на вироджену систему

$$\begin{aligned} \frac{dX_1}{dt} &= F_1(X_1, X_2, t); \\ F_2(X_1, X_2) &= 0, \end{aligned}$$

де:  $X_1$  — вектор змінних, які інтегруються;  $X_2$  — вектор змінних, які не інтегруються;  $F_1$  — вектор-функція, яка характеризує підсистему змінних, які визначаються чисельним інтегруванням диференціальних рівнянь;  $F_2$  — функція, яка визначає квазістаціонарний електричний режим ЕЕС у будь-який момент часу  $t$ .

Фіксація в момент  $t$  провідності вузлових навантажень відповідно до статичних характеристик або ковзання еквівалентного асинхронного двигуна, яке є інтегрованою зміною в разі використання динамічних характеристик навантаження, і використання ЕРС синхронних машин, які відображають електромагнітний стан машини в момент  $t$ , призводить до лінеаризації системи рівнянь квазіусталеного режиму:

$$YU = GE,$$

де:  $Y$  — квадратна симетрична матриця провідностей електричної мережі;  $G$  — діагональна матриця провідностей генераторів, за якими прикладена ЕРС;  $U$  — вектор-стовпчик напруг у вузлах;  $E$  — вектор-стовпчик ЕРС генераторів.

Розв'язання лінійної системи виконується методом впорядкованого виключення Гауса, з використанням ефективного алгоритму, який враховує високу розрідженість матриці провідностей електричної мережі. Як базовий метод чисельного інтегрування вибраний неявний метод Адамса другого порядку, в якому прогноз здійснюється за методом Ейлера, а корекції — за методом трапеції. Метод модифікований за рахунок підвищення порядку формул прогнозу і корекції для рівняння руху ротора (тобто стосовно ковзання  $s$ ), а також реалізації чисельно-

аналітичного розв'язку для рівнянь електромагнітного стану машини та автоматичних регуляторів збудження і частоти обертання генераторів.

Для моделювання автоматичного регулятора збудження (АРЗ) використовуються дві моделі: регулятор безперервної дії (РБД) та релейне форсування (РФ). Система АРЗ під час використання моделі РБД описується двома диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned} \frac{dU_f}{dt} &= \frac{1}{T_B}(U_p - U_f) \\ \text{і} \quad \frac{dU_p}{dt} &= \frac{1}{T_p}(U_{p,вх} - U_p), \end{aligned}$$

де:  $T_B$  — постійна часу збудника;  $T_p$  — постійна часу регулятора;  $U_f$  — напруга збудження;  $U_p$  — напруга регулятора;  $U_{p,вх}$  — вхідний сигнал регулятора.

Модель РФ може бути врахована в моделі РБД у явному вигляді і може використовуватися самостійно як більш проста модель АРЗ при розрахунках динамічної стійкості і описується рівнянням

$$\frac{dU_f}{dt} = \frac{1}{T_{рф}}(U_{рф} - U_f),$$

де:  $T_{рф}$  — постійна часу релейного форсування;  $U_{рф}$  — напруга релейного форсування.

При розрахунку перехідних процесів було враховано автоматичне регулювання швидкості обертання турбіни (АРШОТ) генераторів, а саме найпростіша модель, що враховує динаміку регулятора, яка може бути використана для регуляторів швидкості парових, так гідравлічних турбін (аперіодична ланка з еквівалентною постійною часу та обмеженнями на відкриття та закриття). Також реалізована дволанкова модель, що описує АРШОТ парової турбіни. Ця модель оперує з еквівалентним серводвигуном та враховує аперіодичною ланкою інерційність проміжного пароперегрівача або парових обсягів турбіни. Модель АРШОТ гідротурбін, яка враховує ізодромний зворотний зв'язок, також є звичайною в програмах розрахунку динамічної стійкості. При імпульсному розвантаженні парових турбін через електрогідравлічний перетворювач, що застосовується з метою підвищення динамічної стійкості теплових електростанцій з максимально можливою швидкістю, проводиться короткочасне зниження потужності турбіни. Цей процес спрощено змодельований завданням певної функції зміни моменту турбіни у часі. Комплексне електричне навантаження у вузлах розрахункової схеми ЕЕС утворює широка сукупність різноманітних споживачів електроенергії, приєднаних до електричної мережі вищої напруги через розподільчу мережу. Модель комплексного навантаження будується з еквівалентних елементів, що відображають склад та схему живлення споживачів і передбачає можливість завдання різних моделей статичних характеристик навантаження (СХН), динамічних характеристик навантаження (ДХН), синхронних двигунів (СД) та самовідключення навантаження (СВН). СХН представлена у вигляді поліному другого ступеня за напругою з лінійним членом за частотою. Врахування ДХН озна-

чає інтегрування рівняння руху еквівалентного асинхронного двигуна комплексного навантаження у вузлі. Крім того, у складі ДХН можна вказати тип параметрів самовідключення навантаження (СВН). Досвід ретроспективного аналізу важких системних аварій показує, що врахування СВН доречно для створення адекватної моделі аварійного процесу [5].

Для ілюстрації можливостей використання програмного комплексу для дослідження різноманітних аварійних режимів наведено результати розрахунку перехідного процесу, який виникає в ЕЕС при заданому збуренні. Експериментально дослідницьку модель ЕЕС створено на основі схеми системотвірної мережі ОЕС України (794 вузлів, 1292 гілок). Для дослідження було вибрано один із режимів зимового

максимуму ОЕС України з подальшим обваженням за рахунок перерозподілу потужностей для завантаження контрольованого перетину ОЕС України “Захід – Вінниця” (зі збереженням балансу потужностей). Режим ускладнено за рахунок поперяднього вимкнення ЛЕП 750 кВ “Вінницька – Західноукраїнська”. Також в розрахунково-експериментальних дослідженнях передбачено моделювання дії пристроїв протиаварійної автоматики. В якості збурення задано трифазне коротке замикання (КЗ) на шинах 330 кВ ПС РАЕС [6]. Тривалість моделювання аварійних процесів дорівнює 10 с, крок чисельного інтегрування становить  $10^{-3}$  с. На **рис. 1, 3** наведено протоколи результатів варіативних розрахунків для різної тривалості короткого замикання у випадках успішного, або неуспішного АПВ, а на **рис. 2, 4** —



Рис. 1. Протокол перехідного процесу тривалість  $\Delta t_{K3}=0,12$  с з успішним АПВ,  $T_f=7,1$  с

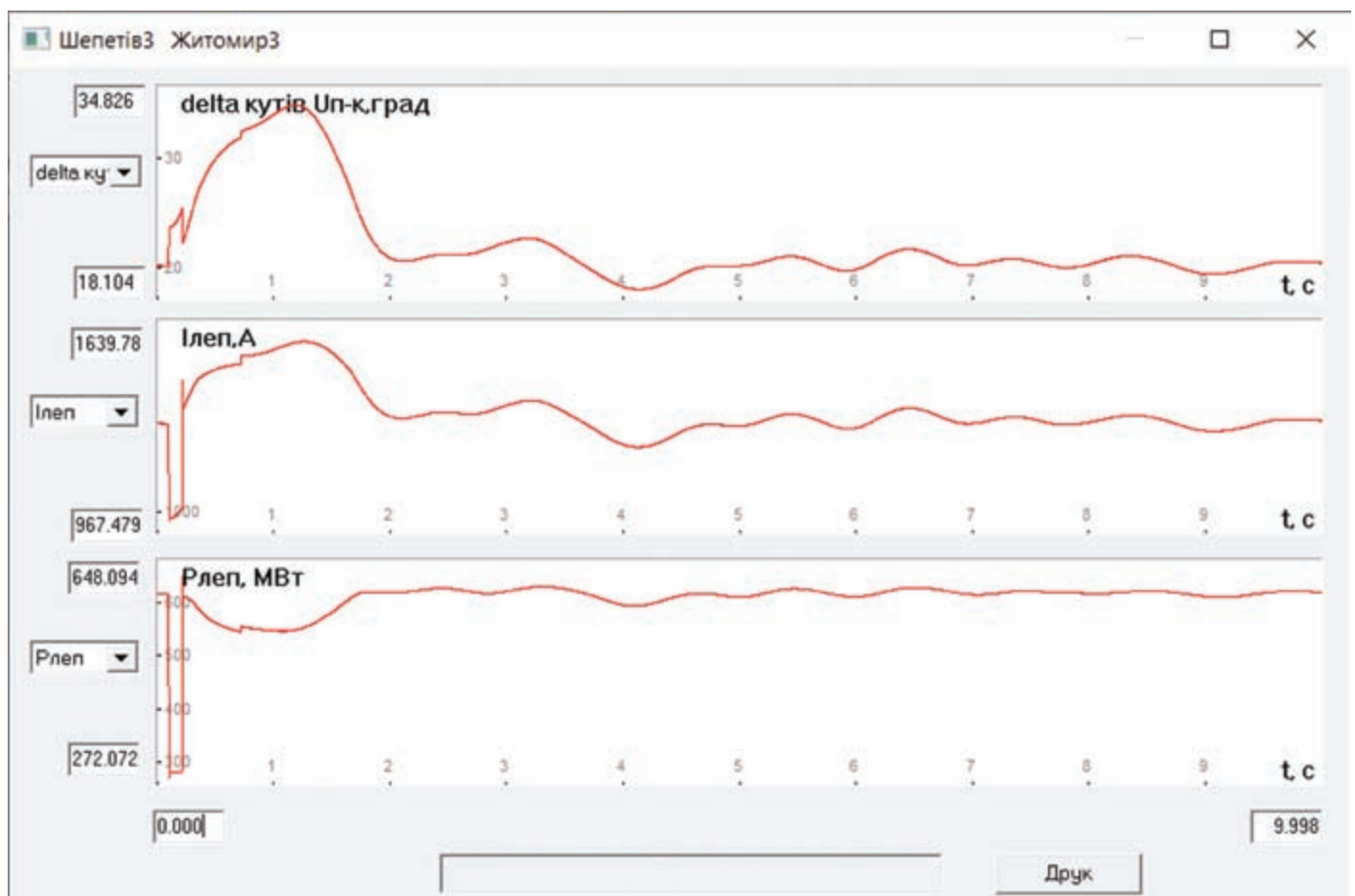


Рис. 2. Графік зміни у часі різниці кутів векторів напруги (delta кутів напруги на початку і в кінці) на шинах приєднання ЛЕП 803-712, струму і потужності, тривалість  $\Delta t_{K3}=0,12$  с з успішним АПВ,  $T_f=7,1$  с

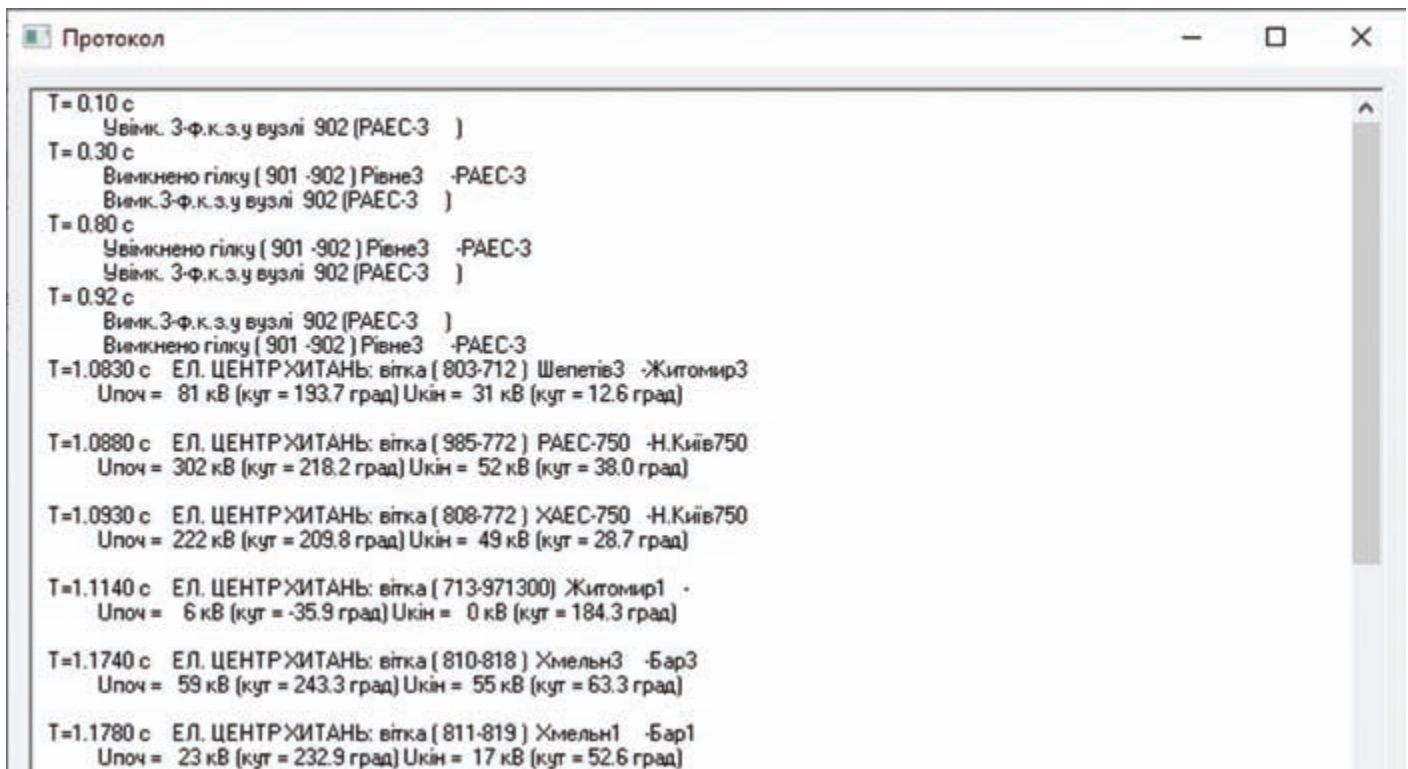


Рис. 3. Фрагмент протоколу переходного процесу тривалість  $\Delta t_{кз}=0,20$  с з успішним АПВ,  $T_f=1,5$  с з неуспішним АПВ

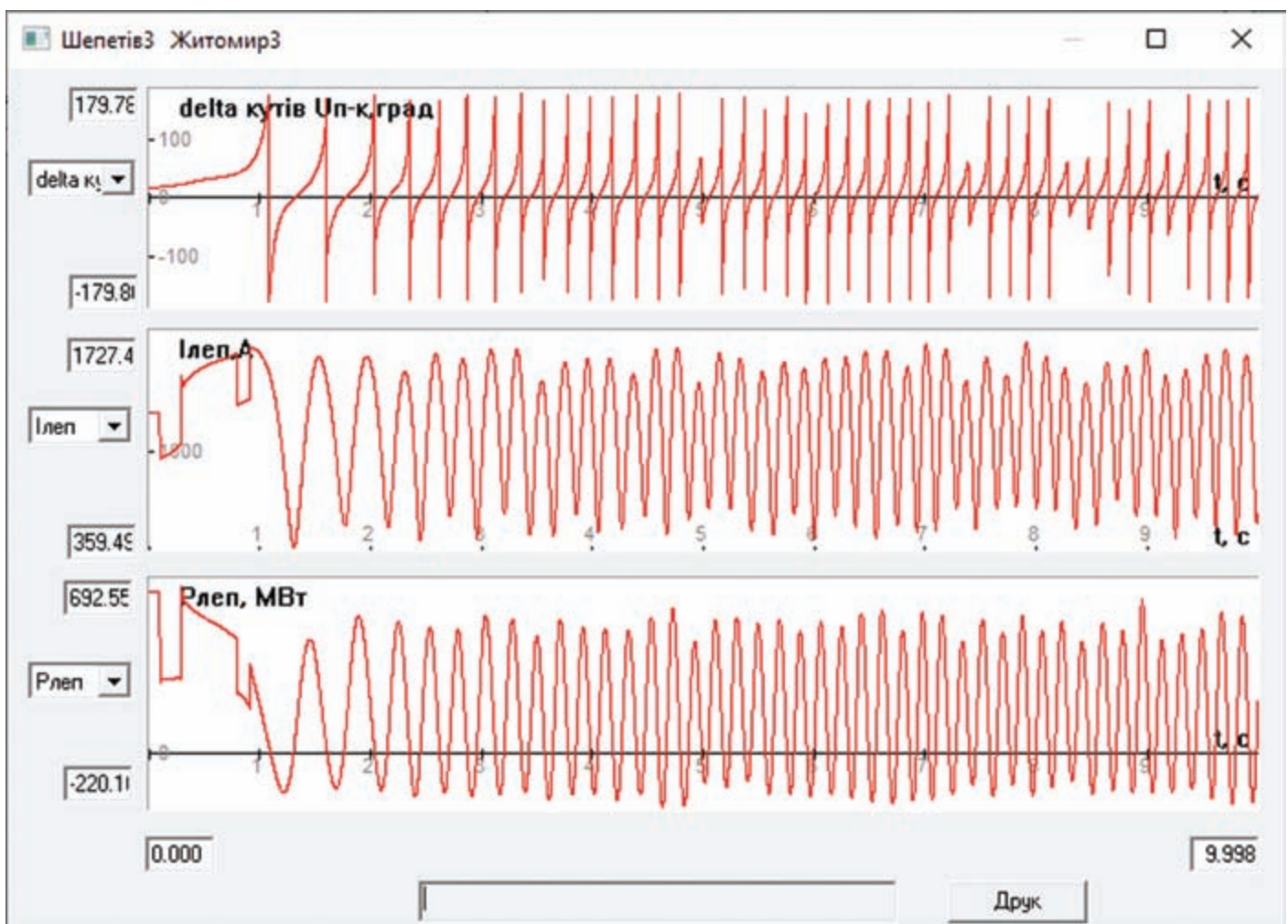


Рис. 4. Графік зміни у часі різниці кутів векторів напруги (delta кутів напруги на початку і в кінці) на шини приєднання ЛЕП 803-712, струму і потужності тривалість  $\Delta t_{кз}=0,20$  с з успішним АПВ,  $T_f=1,5$  с з неуспішним АПВ

графіки зміни у часі параметрів процесу. Для дослідження змінювалась постійна інерція синхронної машини  $T_j$ . Змінюючи параметри моделей елементів ЕЕС можна проаналізувати, при яких параметрах можна забезпечити стійкість.

При моделюванні процесу у другому випадку спостерігається виникнення асинхронного режиму.

Таким чином, імітаційне моделювання аварійних режимів за допомогою програмних комплексів розрахунку режимів ЕЕС є важливим елементом для

підвищення живучості електроенергетичних систем. Сценарії для аналізу живучості енергооб'єднань доцільно формувати за допомогою важких відмов, використовуючи як норматив як найбільш достовірну статистичну інформацію про каскадні аварії. Використання імітаційного моделювання забезпечує задовільну точність подання динаміки енергетичних систем та можливість достатньо повного врахування відмов релейного захисту, протиаварійної автоматики та комутаційних апаратів на основі розрахунків перехідних режимів ЕЕС.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Yunieieva N., Mashchenko O., Chornyi Yu., Kostiuk V. Problem of survivability of energy associations as specific property of complex systems. *Ukrainian Journal of Food Science*, 11(2), 148–160, <https://nuft.edu.ua/doi/doc/ujfs/2023/2/8.pdf>
2. <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html>
3. <https://dakar.eleks.com/>
4. Авраменко В.М., Крилов В.О., Черненко П.О., Прихно В.Л. Математичні моделі та програмні засоби для вирішення завдань автоматизованого диспетчерського управління енергосистемами. Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2012, 303 с.
5. Авраменко В.М., Прихно В.Л., Мартинюк О.В., Юнеєва Н.Т. Адаптивні засоби забезпечення стійкості та живучості об'єднаної енергосистеми України. Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2016, 100 с.
6. Буткевич О.Ф., Гурєєва Т.М., Юнеєва Н.Т. Структурні зміни енергосистем та відповідні зміни їхніх динамічних властивостей. *Техн. електродинаміка*. 2023. 6. 54–64. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2023.06.054>.



# 26–28 травня 2026

## XXII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ / ПОЖТЕХ

За підтримки  
ДСНС України

**Місце проведення:**  
МВЦ, м. Київ,  
Броварський пр-т, 15

+38 (050) 770-36-75  
+38 (050) 403-66-91

✉ [protech@iec-expo.com.ua](mailto:protech@iec-expo.com.ua)  
[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)

**ПАРТНЕРИ ВИСТАВКИ:**

|   |   |                                       |                           |
|---|---|---------------------------------------|---------------------------|
| Всеукраїнська асоціація вибухотехніків    | Українська асоціація гуманітарного розмінування | Асоціація фахівців цивільного захисту | Генеральний медіа-партнер |
| Асоціація добровільних пожежників України | Генеральний інформаційний партнер               |                                       |                           |

# ПОРТАТИВНИЙ БАГАТОКАНАЛЬНИЙ АНАЛІЗАТОР ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ PQube3 (США)



## ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

- Прилад здійснює моніторинг трифазної, однофазної напруги та розщепленої фази 69-480 L-N, 100-960 В L-L, 50/60/400 Гц. Не вимагає вимірних трансформаторів
- **8 каналів струму** (можливість одним приладом одночасно вимірювати два 3-фазні навантаження. Відпадає необхідність у купівлі 2 приладів)
- Автоконфігурація – автоматичне визначення однофазної і багатофазної напруги, номінальної напруги, номінальної частоти
- Чотири аналогових входи, один цифровий вхід, один релейний вихід
- Додатково підключається модуль ДБЖ з резервним живленням 30 хвилин
- Зберігання даних у внутрішній пам'яті 16 Гб
- Знімна карта пам'яті microSD на 16 Гб і USB-флешка на 8 Гб з кришкою для обмеженого доступу
- Кольоровий сенсорний дисплей можна використовувати в захисних рукавичках
- Жорсткий кейс для перенесення приладу

## МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ Прилад класу А (Ред. 3)

- Сертифікований на **Клас А ІЕС 61000-4-30 Ed 3**
- Високошвидкісна реєстрація даних – 512 показів за період
- Запис відхилень параметрів якості електроенергії з зображенням форми хвилі середньоквадратичного значення
- Провали напруги, перенапруги та відключення, події підвищення частоти або зниження частоти, знімки миттєвих значень
  - КВС напруги, КВС струму; несиметрія напруги та струму; ВАР; ВАР-година; Флікер (Pinst, PST, PLT)
- Гармоніки напруги, струму, інтергармоніки – до 63-й, зі статистикою
- Реєстрація і запис високочастотних імпульсів 1 МГц (до 4 МГц на одному каналі)
- Вимірювання кондуктивних перешкод в діапазоні частот від 2 до 150 кГц
- Розміри приладу: 27×24,6×12,4 см
- Вага: 2,8 кг

## ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГІЇ (Клас точності 0,2s)

- Під замовлення поставляються високострумові трансформатори струму PSL, що відповідають вимогам стандартів IEC 62053-22 класу 0.2 та ANSI C12.20 класу 0.2
- Вт, ВА, ВАР, Фактичний коефіцієнт потужності, Вт-години, ВА-години, ВАР-години
- Двонаправлена потужність – отримана і поставлена (облік споживання та генерації)
- Пікові середні значення – за один період, 1 хвилина, 15 хвилин та з обраними користувачем інтервалами
- Підтримка коефіцієнтів ТТ від 1:1 до 1:50000
- Співвідношення коефіцієнта ТН підтримується до 1:10000 (6 900 000) вольт
- Щоденні, щотижневі, щомісячні тренди, криві тривалості навантажень
- Додатково 2 датчика температури і вологості, атмосферного тиску, вібрації, прискорення
- Два порти для датчика сонячного випромінювання (Вт/м<sup>2</sup>), термопари типу К і т.д.

## НЕ ПОТРІБНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

- Файли графіків і таблиць знімаються з самого пристрою PQube3
  - Прилад працює як самостійно, так і в системі режиму реального часу
  - Може працювати без каналів зв'язку. PQube3 зчитує усі дані з SD карти, як цифровий фотоапарат
- Віддалений доступ до вбудованого веб-сервера
- Доступ до файлів даних через FTP
- Вбудований порт Ethernet
- Як опція Wi-Fi
- 2 порти USB 1.0, 1 порт USB 2.0 для передачі даних на флеш-накопичувач
- Лічильники реального часу з Modbus-TCP і SNMP (v2 і v3) NTP і SNTP для синхронізації
- Безпечний зашифрований зв'язок з HTTPS
- МЭК 61850

## НАКОПИЧЕНІ ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДОЗВОЛЯЮТЬ

- Розробити заходи по оптимізації роботи системи енергопостачання
- Визначити джерело, яке створює перешкоди в електромережі
- Визначити похибки обліку електроенергії, яка залежить від якості електроенергії

В якості опції **PQube3** може працювати як **мікросинхрофазометр для попередження появи кібератаки на енергосистему.**

Прилади "PQube3" успішно використовуються на об'єктах: **Київенерго, Нафтогаз, Канбуд, Лінде-Газ, Укрпластик, Дніпро-Азот, Національний університет "Львівська Політехніка"** та ін.



Консультації за адресою:  
E-mail: [powertessa@gmail.com](mailto:powertessa@gmail.com)  
Тел.: +380 98 054 61 87



# ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОТИАВАРІЙНОЇ АВТОМАТИКИ: ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

## ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

Ми займаємося розробкою та впровадженням комплексів Протиаварійної автоматики (ПА) — критично важливого компонента для забезпечення стійкості сучасної енергосистеми. ПА — це комплекс спеціалізованих технічних засобів та систем керування, призначених для запобігання розвитку масштабних аварій в об'єднаній енергосистемі. Наша ключова місія полягає в забезпеченні стабільної роботи системи та мінімізації наслідків аварійних ситуацій. Основною, невідкладною метою ПА є не допустити порушення стійкості енергосистеми та запобігти системним знеструмленням (блекаутам) шляхом швидкої автоматичної зміни режиму роботи системи одразу після виникнення аварій.



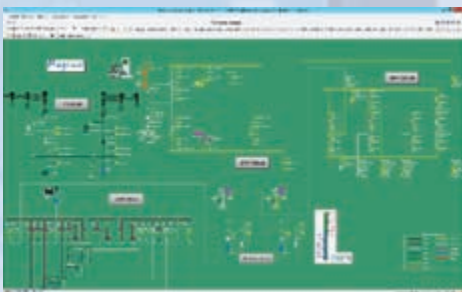
## 1 ОСНОВНІ ЦІЛІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПЕРЕВАГИ

Створення та модернізація комплексів ПА має низку фундаментальних цілей, які прямо впливають на операційну ефективність та безпеку. Наші розробки спрямовані на **підвищення надійності та ефективності роботи енергосистеми**. Окрім того, функціонування ПА підвищує **довговічність та ступінь експлуатаційної надійності обладнання**. Важливим економічним аспектом є зменшення збитків, які можуть виникнути внаслідок помилок персоналу.

Ми також закладаємо у ПА потужні інформаційні функції:

**1. Оперативна Достовірність:** Своєчасне надання оперативному персоналу **достовірної інформації в режимі плинного часу** про хід технологічного процесу, поточний стан контрольованого енергорайону та самого комплексу ПА.

**2. Аналітична Підтримка:** Забезпечення персоналу **ретроспективною технологічною інформацією** (реєстрація подій, розрахунок показників) для глибокого аналізу, подальшої оптимізації та планування роботи енергорайону, а також його ремонту. Система моніторингу виконує реєстрацію параметрів режимів, аналіз аварійних ситуацій, побудову добових графіків та гармонічний аналіз.



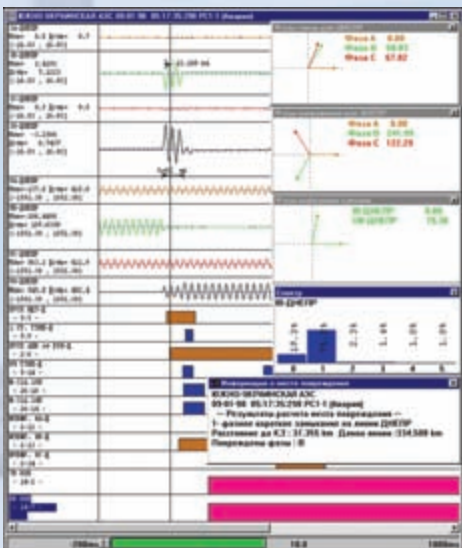
## 2 ТЕХНІЧНА АРХІТЕКТУРА КОМПЛЕКСУ ПА

ПА структурно складається з двох ключових підсистем, кожна з яких виконує свій унікальний набір функцій протиаварійного керування:

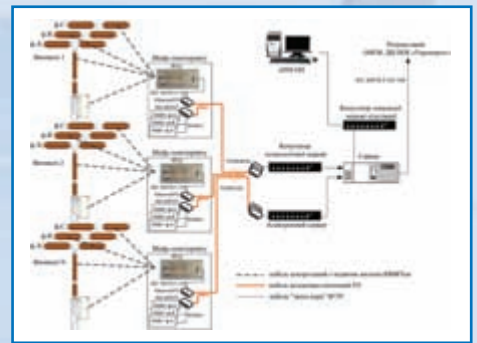
**1. Автоматика обмеження зниження напруги (АОЗН):** Забезпечує послідовне обмеження навантаження у разі виникнення небезпечного зниження напруги на шинах підстанції.

**2. Автоматика обмеження перевантаження обладнання (АОПО):** Спрацьовує при перевантаженні автотрансформаторів, при цьому враховуючи напрямок перетоку активної потужності.

Фізична реалізація комплексу ПА передбачає використання центрального комплексу та периферійних комплектів, що розміщуються на ключових підстанціях. Усі об'єкти обладнуються спеціалізованими шафами – АОЗН/АОПО та моніторингу. Ці шафи містять **мікропроцесорні пристрої**, модулі вводу/виводу



аналогових і дискретних сигналів та елементи для аналізу і передачі інформації. Критично важливим є те, що дані, отримані з первинних перетворювачів, автоматично обробляються, перетворюються у цифровий формат і застосовуються для генерації команд керування без втручання диспетчера.



### 3 ВИМОГИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТИАВАРІЙНОГО КЕРУВАННЯ

Впровадження ефективного комплексу ПА вимагає розробки якісної проектно-кошторисної документації та проведення точних розрахунків. Однією з найважливіших вимог до нашої роботи є **актуалізація моделі мережі енергосистеми**, яка має ґрунтуватися на фактичних даних щодо навантажень, виміряних у відповідні режимні дні.

Розрахункова модель, яку ми створюємо, повинна бути вичерпною та включати:

- Поточну модель електричних мереж.
- Моделі електростанцій та компенсуючих пристроїв, зокрема тих, що встановлені на підстанціях регіону.
- Моделі навантаження, які враховують **сезонні зміни** (режими максимуму та мінімуму навантаження) та допустимі рівні напруги.
- Моделі **ВЕС** та **СЕС** (діючих та перспективних, згідно з виданими технічними умовами). Важливо, що ми враховуємо їхні технологічні обмеження працездатності, залежні від рівнів напруги та навантажень електричних мереж.



На підставі комплексного моделювання аварійних режимів ми формуємо рекомендації щодо **удосконалення протиаварійного керування**. Під цим ми розуміємо розробку та режимне обґрунтування можливих заходів, спрямованих на **забезпечення допустимих рівнів напруги та недопущення перевантаження обладнання та розвитку аварій**.



У процесі проектування локального комплексу ПА необхідно визначити **необхідність змін алгоритмів дії та уставок ПА в залежності від пори року**. Моделювання дозволяє сформулювати групи керуючих дій, таких як САВН, поділ мережі на фрагменти чи відключення об'єктів ВДЕ, та визначити факти спрацювання ПА і алгоритм дозування керуючих дій. За потреби, ми надаємо пропозиції щодо встановлення нових спеціальних джерел дії (СДА), включаючи місця їх розташування та уставки, та проводимо моделювання цих нових пристроїв з урахуванням запропонованих уставок за струмом та часом.

### 4 ВИСНОВОК

Впровадження та постійне удосконалення Протиаварійної автоматики є необхідною умовою для безпечної та ефективної експлуатації сучасної енергосистеми. Наш комплексний підхід, що включає ретельне моделювання та автоматизоване керування, гарантує високий рівень надійності та захист від системних аварій.



# ПІДСТАНЦІЇ ТА ЩИТОВІ



# sinalda<sup>®</sup>.COM

mains voltage control



 **SVS-3P**  
SERIES

Servo-Electronic / Electro-Dynamic

**AC Voltage Stabilisers  
& Power Conditioners**



Commercial & General  
Industrial Applications

Three Phase   
6 to 600kVA 



Cost Efficient Voltage Stabilisation  
with fast speed of response, high  
output voltage accuracy and inbuilt  
energy saving ability

Suitable for 98% of all applications



ТОВ "ТЕССА"

E-mail: [powtessa@gmail.com](mailto:powtessa@gmail.com)

Тел.: +380 98 054 61 87

Консультації – Доставка – Підтримка

МИХАЙЛОВ Валентин Петрович





**4 WIRE (with Neutral)****3 WIRE (no Neutral)**

## ENSURING A STABLE AC UTILITY MAINS VOLTAGE




All mains powered equipment requires a supply which is maintained within certain limits. Too low and the equipment will malfunction, too high and the equipment could be seriously damaged. In many developed and developing economies, power demand is outstripping supply, giving rise to large voltage swings, surges and brownouts in the supply.











Failure to ensure the incoming mains voltage is stable and clean can often result in costly equipment repairs and unplanned down-time.

### SVS THREE PHASE AC VOLTAGE STABILISERS & POWER LINE CONDITIONERS OFFER:

- 
**Voltage Stability & Protection**  
 Suitable for all electrical and electronic equipment, SVS AC Voltage Stabilisers continuously monitor the incoming supply. Should the incoming voltage rise or drop, the Stabilisers will automatically control the output to ensure the voltage reaching the load equipment always remains constant at the requisite voltage. With inbuilt Transient Voltage Surge Suppression (TVSS), they also protect electrical and electronic load equipment against, all too common, harmful highenergy surges, transients and voltage spikes.
- 
**Durability & Dependability**  
 With an impressively wide range of input voltage window options and precise tight output voltage regulation, the electro-dynamic / servo-electronic design based SVS Voltage Stabilisers have repeatedly proven their durability and dependability in some of the world's harshest and most demanding power environments. All SVS AC Voltage Stabilisers include as standard many advanced protection and control features - such as Independent Phase Sensing, TVSS, Input Circuit Breaker, Electronic Controls Bypass Switch, Soft-Switch On and Lightning Surge protection, which others only offer as expensive add-on options.
- 
**Energy Efficiency**  
 Configured to optimise energy usage and deliver energy cost savings, SVS Stabilisers generate no magnetic interference, are completely unaffected by power factor, or load and frequency variations and are capable of withstanding high instantaneous overloads. Their compact and quiet nature means these they are suitable for indoor use and may be located near to sensitive equipment.
- 
**Unparalleled Protection and Value**  
 When looking for affordable durable Quality voltage protection, the SVS Range of AC Voltage Stabilisers from Sinalda UK lead the market in all respects.

## STANDARD FEATURES

- 
**Stepless Automatic Voltage Regulation**  
 Should the incoming voltage rise or drop, the Stabilisers will automatically control the output to ensure the voltage reaching the load equipment remains within the load equipment's intended requisite input voltage window.
- 
**Wide Range of Power Ratings & Voltages**  
 Models are available in a wide range of power ratings from 6 to over 600kVA, covering all the leading international three-phase (with and without Neutral) nominal voltages.
- 
**Broad Input Voltage Variation Ranges**  
 Available with a wide range permissible input voltage window, SVS Series Voltage Stabilisers are ideal for virtually all types of load applications and the most challenging of power environments.

- 
**Precise Output Voltage Regulation**  
 With a default 1% accuracy on the output voltage, SVS Stabilisers are suitable for the most sensitive of loads. Where deemed appropriate the output voltage accuracy can be adjustable from between 1 to 5%.
- 
**Transient Voltage Spikes & Surge Protection**  
 Protection against all too common everyday high energy spikes and transient voltages typically introduced into the utility mains supply by nearby disturbances resulting from peak power demands or stop/start operation of electrical machines.
- 
**Independent Phase Control**  
 Each phase voltage remains stable, irrespective of load unbalance, even for situations where a 100% load imbalance may exist.
- 
**High Overload Capability**  
 Ability to support electrical and electronic equipment with inherent initial high current draws on start up.
- 
**Start-Up Load Protection & Restart Time Delay**  
 A preset time delay on system re-start is designed to prevent nuisance tripping. This feature ensures that load appliances are not switched on-off repeatedly during fluctuations, nor are they subjected to massive surges usually experienced when power returns after power outages.
- 
**Over & Under Voltage Protection**  
 Ability to configure the Voltage Stabiliser/Power Conditioner, if required, to shut down in the event of the incoming voltage supply going outside the normal input window.
- 
**Class II Lightning Surge Protection**  
 Protection of the load equipment from the potentially damaging effects of high transient overvoltages introduced indirectly into the utility mains supply following a lightning strike.
- 
**Phase Failure Protection**  
 Any failure of phases on a three-phase supply will be immediately detected, and the system will automatically shut down to protect the load side equipment.
- 
**Bypass Switch**  
 A useful emergency feature which, in the unlikely event of a system malfunction, enables the bypassing of the electronic controls circuitry to provide power direct to the load.
- 
**Front Panel Status Monitoring & Metering**  
 Mounted on the front of the enclosure with Over and Under Voltage LED indication, Output Voltage and Current Metering and Power On / Off controls.

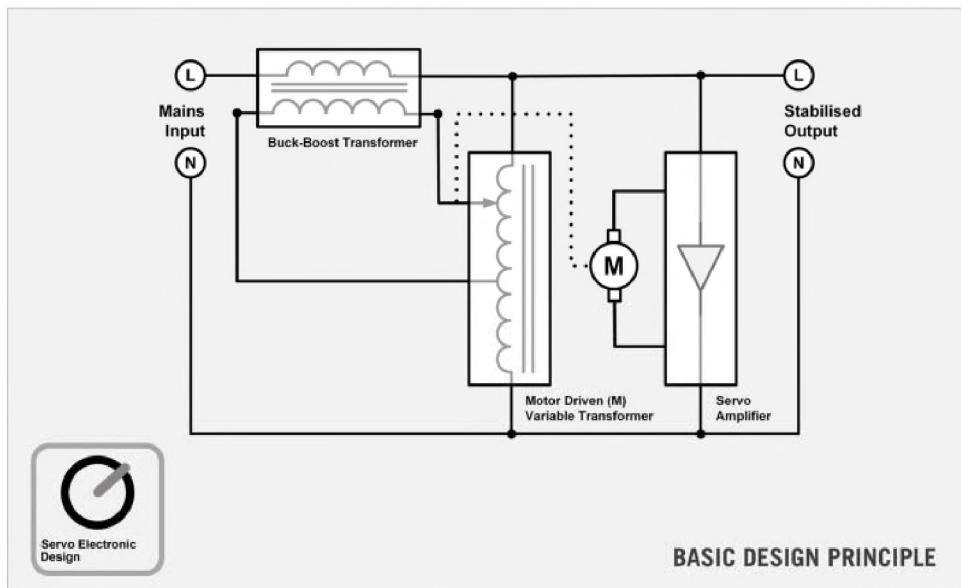
## OPERATING DESIGN PRINCIPLE (TRIED, TESTED AND WELL PROVEN)

Over the last 30 years our Servo Electronic ranges have been tried, tested and extensively proven in all corners of the world — including some of the harshest and most remote power environments on this planet.

From the blistering heat of Arabian Desert to the sub-zero temperatures and remoteness of the Caucasian mountains, our Servo-Electronic Stabilisers and Conditioners can be found on duty offering protection to vital equipment where the supply must never be found wanting — not even for a single second!

Being able to accommodate input voltage swings of in excess of 40%, whilst still delivering accuracy on the output of 1% or better, the Servo Electronic design principle comprises a transformer having its secondary winding connected between the mains supply and the load. The primary voltage is automatically controlled through a servo motor driven variable transformer, thereby ensuring a continuous, smooth and very stable output voltage.

A solid state Servo-Amplifier continuously monitors the output voltage of the stabiliser. Should, due to an incoming voltage or load current change, the output voltage deviate from the required value, the Amplifier sensor instructs the servo motor to rotate the brush-gear on the variable transformer to correct the output for the deviation. The speed of detection and actions of the servo system are exceptionally fast, with controlled motor deceleration to minimize any possibility of overshoot.



Over the years with advances in semi-conductor, motor and digital technologies, our development engineers have considerably enhanced the performance of the basic design principle. Our latest Servo-Electronic / Electro-Dynamic generation of solutions deliver the most reliable, fastest acting, highly stable and most energy efficient operation seen in the market today.

## VOLTAGE CHOICES AVAILABLE

### - 4 WIRE (3P+N+G/E) - With Neutral



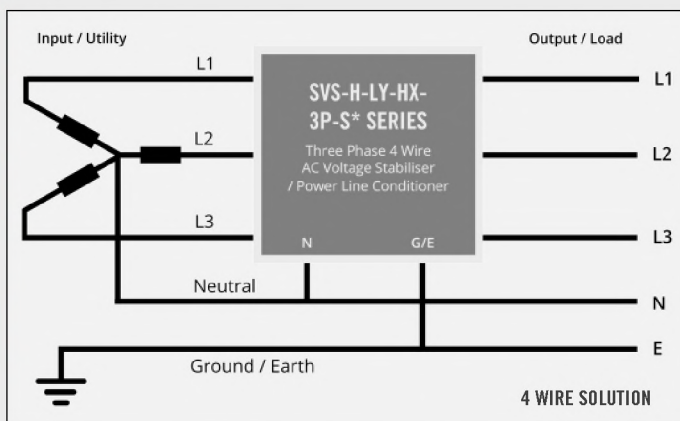
Nominal Voltages:  
380/220V 400/230V 415/240V



Nominal Voltages:  
440/254V 460/265V 480/277V



Nominal Voltages:  
190/110V 200/115V 208/120V 220/127V



### - 3 WIRE (3P+G/E) - No Neutral



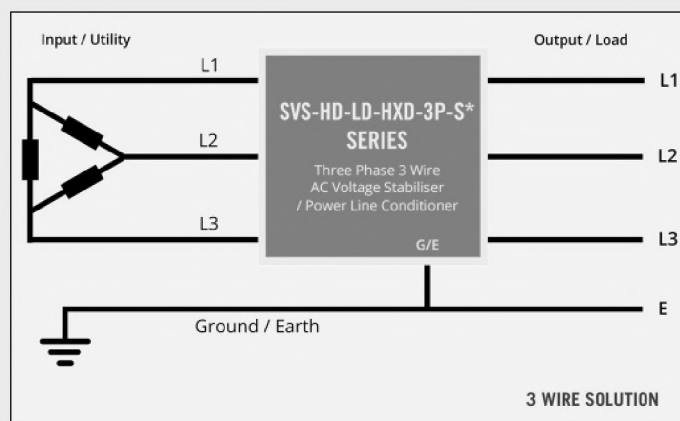
Nominal Voltages:  
380V 400V 415V



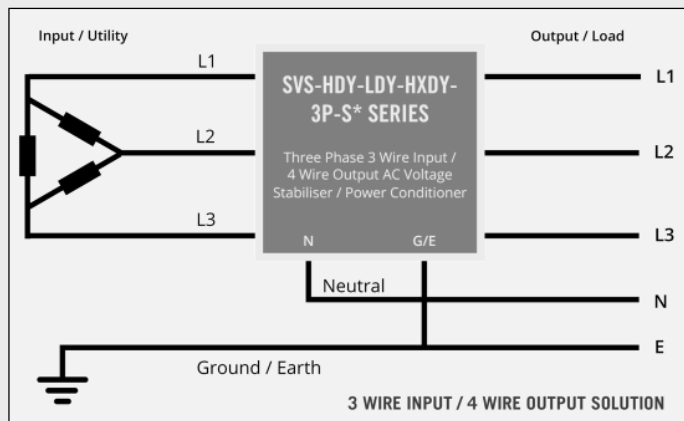
Nominal Voltages:  
440V 460V 480V



Nominal Voltages:  
190V 200V 208V 220V 240V



- 3 WIRE INPUT (3P+G/E) / 4 WIRE OUTPUT (3P+N+G/E)



**Note:** Alternative voltage options available Note: on special quotation.






Models are also available offering Step-Up or Step-Down voltage conversion (e.g. Step-Down — 400/230V to 208/120V or Step-Up — 208/120V to 400/230V).

## GENERAL TECHNICAL SPECIFICATION

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <b>Technology:</b>   | <b>Servo Electronic</b> — Variable Transformer controlled, series regulation transformer (buck-boost transformer with secondary wired in series with the load). |  |   |
| <b>Input Voltage Swing Variant Options Available: (S*)</b><br><i>(Customer to specify)</i> | <b>Model</b>  | <b>Window</b>                          | <b>Series</b>                             |
|  | <b>S15</b>  | ±15%                                   | H & HD, HX & HXD and LY & LD              |
|  | <b>S20</b>  | ±20%                                   | H & HD, HX & HXD and LY & LD              |
|  | <b>S25</b>  | ±25%                                   | H & HD, HX & HXD and LY & LD              |
|  | <b>S30</b>  | ±30%                                   | H & HD and LY & LD                        |
|  | <b>S35</b>  | ±35%                                   | H & HD                                    |
| <b>Output Voltage:</b><br><i>(Customer to specify)</i>                                     | <b>Series</b>   | <b>Voltage</b>                         |   |
|  | <b>H</b>  | 380/220V, 400/230V, 415/240V           | Three Phase, 4 Wire, 50/60Hz              |
|  | <b>HX</b>   | 460/254V, 460/265V, 480/277V           | Three Phase, 4 Wire, 50/60Hz              |
|  | <b>LY</b>   | 190/110V, 200/115V, 208/120V, 220/127V | Three Phase, 4 Wire, 50/60Hz              |
|  | <b>HD</b>   | 380V, 400V, 415V                       | Three Phase, 3 Wire (No Neutral), 50/60Hz |
|  | <b>HXD</b>  | 460/254V, 460/265V, 480/277V           | Three Phase, 3 Wire (No Neutral), 50/60Hz |
| <b>Output Voltage Accuracy:</b>  | ±1% (Adjustable ±1% to ±5%).  |  |   |
|  | <b>Frequency:</b>   | 47–63 Hz                               |   |
| <b>Response Time:</b>  | <1.5 ms   |  |   |
| <b>Correction Time:</b>  | A 10% supply variation will be corrected to within 2.5% in 0.6 seconds.   |  |   |
| <b>Efficiency:</b>   | ≥98%  |  |   |
| <b>Power Factor:</b>   | The Power Factor has no effect on performance providing the stabiliser is being used within its rated capacity  |  |   |
| <b>Overload Capability:</b>  | 150% max. current rating for 10 seconds   |  |   |
| <b>Surge Suppression:</b>  | TVSS — Protects loads against high-energy Spikes and Transient Voltages.  |  |   |

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| <b>Total Harmonic Distortion:</b> | Less than 1%   |
| <b>Independent Phase Control:</b> | Maintains each phase voltage stable irrespective of load unbalance, even up to 100% load unbalance.  |
| <b>Start Up Protection:</b>       | Protects load equipment from damaging start up voltage surges. A   |
| <b>Environment:</b>               | Temperature range –15 to 45°C.<br>Derate by 2% for each additional °C Up to max 60 °C  |
|                                   | Suitable for indoor tropical use 95% RH (non-condensing).  |
|                                   | Maximum altitude 1000m. Derate by 2.5% for each additional 500m.   |
| <b>Construction:</b>              | Enclosures to IP20 (NEMA 1 Style) — BS EN 60529.   |
|                                   | IP54 Enclosures available as an option.  |
| <b>Paint Colour:</b>              | RAL 7032 ( <i>Pebble Grey – Epoxy Powder Coating</i> )   |
| <b>EMC Conformance:</b>           | Complies with BS EN 55022 and the relevant parts of the BS EN 61000 series of standards.   |
| <b>CE / UKCA Conformity:</b>      | CE / UKCA Marked — being fully compliant with European Union Directives 2014/30/EU (The EMC Directive) and 2014/35/EU (The Low Voltage Directive) and associated UK regulations. |
| <b>Standard Warranty:</b>         | Three Years / 36 Months from date of supply (IP54 Models Two Years / 24 Months)  |
| <b>Standard Features:</b>         | Input Circuit Breaker ( <i>Q1</i> )  |
|                                   | Output Contactor   |
|                                   | Over/Low Voltage Protection  |
|                                   | Phase Failure Protection   |
|                                   | Automatic Re-Start in the event of Utility Mains Failure with adjustable Re-Start Time Delay   |
|                                   | Electronic Controls Bypass Switch ( <i>SW1</i> )   |
|                                   | Lightning Surge Arrestors ( <i>Class II SPD – 40 kA</i> )  |
|                                   | Front Status Display Panel with Digital Voltmeter & Ammeter ( <i>inc. Phase Selector Switch</i> )  |

## ADD-ON OPTIONS

- 
**Power Conditioning [-PC]**  
 Shielded isolation transformer providing extra protection between the utility and the load. Protects against common and transverse mode electrical noise. Delivers what is commonly referred to a “CLEAN” supply.
- 
**IP 21 Ingress Protection [-IP21]**  
 Addition of a ‘Top Hat’ Drip Proof Cowl to the IP20 standard enclosure to deliver IP21 Ingress Protection.
- 
**IP 54 Ingress Protection [-IP54]**  
 System presented in durable IP54 (BS / EN 60529) / NEMA 3 free-standing steel cubicles suitable for external use, or more challenging internal environments..
- 
**Output Circuit Breaker [-OCB]**  
 Output Circuit Breaker supplied as an alternative to the Output Contactor, which is fitted as standard on all models. (For more details See Page 12)
- 
**Full Manual Maintenance Bypass Switch [-MBS]**  
 While many Customers, following conventional wisdom, prefer to install a bypass facility that is external to the Stabiliser/Conditioner, where requested models can be fitted with an integrated traditional ‘Break Before Make’ bypass facility. This feature can be handy when performing remedial works, or undertaking deep maintenance on the system. (For more details See Page 12)

- ✓ **Digital Power Metering Options [-DPM] & [-DPM2]**  
 [-DPM] — Microprocessor based output digital power metering, with the option of event logging — monitoring V, A, W, VAR, PF, W Hrs & VAR Hrs and the offering RS-485, Modbus RTU, Modbus ASCII, Jbus Protocol interface.  
 [-DPM2] — Input and Output digital power metering — showing V, A, W, VAR, PF, W Hrs and VAR Hrs.
- ✓ **UL Recognised Component [-URC]**  
 For applications where UL compliance is required, the Stabiliser / Conditioner can be supplied with UL approved Input Breakers and Output Contactors / Breakers, so that the client can obtain on site UL approval of the installation.
- ✓ **AquaStop [-AS]**  
 PCB protective coating offering protection against damp and moisture ingress.
- ✓ **Back Feed Support [-BF]**  
 Support for solar inverter back feed applications

## UNDERSTANDING SVS MODEL NUMBERS



|   |               |                                      |   |                     |                  |
|---|---------------|--------------------------------------|---|---------------------|------------------|
| 1 | Sinalda Range | - SVS                                | 5 | Input Voltage Swing | ±15%             |
| 2 | Power Rating  | - 50 kVA                             | 6 | Option Fitted       | - IP54 Enclosure |
| 3 | Voltage       | - High Volt (International - 4 Wire) | 7 | Nominal Voltage     | - 400V           |
| 4 | No of Phases  | - Three Phase                        |   |                     |                  |

## SWITCH ARRANGEMENTS

### STANDARD CONFIGURATION

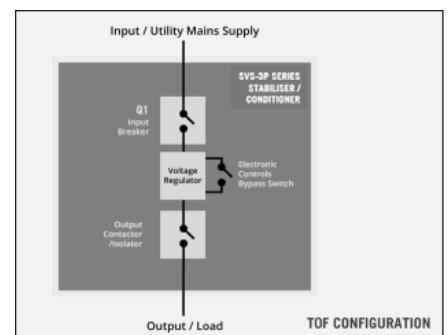
#### Input Breaker / Switch, Output Contactor / Isolator & Bypass Switch

Input Breaker / Switch — Delivers over current input protection.

Output Contactor / Isolator — Used for switching the Stabiliser / Conditioner On or Off.

Electronic Controls Bypass Switch — Ability to bypass the inbuilt electronic controls circuitry to provide power to the load via the power stacks.

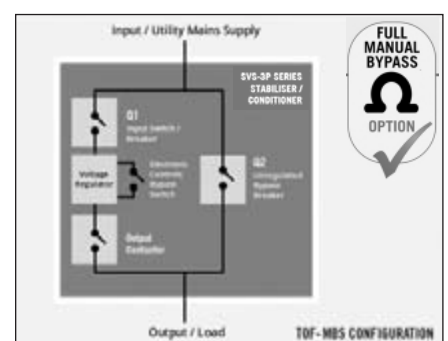
Useful emergency feature in the unlikely event of a system malfunction.



### ADDITIONAL CONFIGURATIONS AVAILABLE

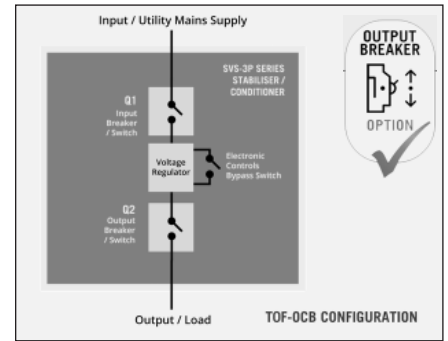
#### Addition of a Full Manual Bypass Facility [-MBS Option]

Break Before Make' bypass facility offering the ability to route the supply feed to bypass the Stabiliser / Conditioner. Useful when performing deep maintenance on the system, or in the highly unlikely event of a system malfunction.



**Addition of an Output Circuit Breaker [-OCB Option]**

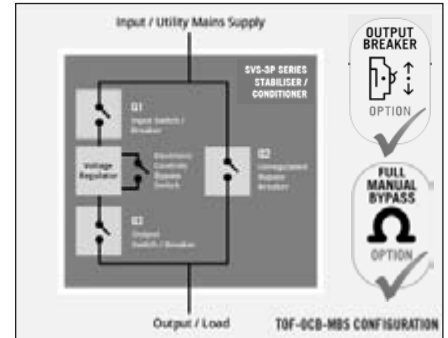
Replacement of the Output Contactor / Isolator with an Output Circuit Breaker



**Addition of an Output Circuit Breaker & Full Manual Bypass Facility [-OCB-MBS Option]**

Output Circuit Breaker — Replacement of the Output Contactor / Isolator with an Output Circuit Breaker.

Full Manual Bypass Facility - Break Before Make' bypass facility offering the ability to route the supply feed to bypass the Stabiliser / Conditioner. Useful when performing deep maintenance on the system, or in the highly unlikely event of a system malfunction.



**FAST CORRECTION TIMES**

All our Servo Electronic based solutions offer exceptionally fast correction times. Stated in terms of the time taken to correct a 10% voltage variation to within 2.5% of the required output voltage we offer a correction time of 0.6 seconds. Taking into account the time constant of power supplies, motors and other components making up the load, the speed of response is usually more than sufficient for 98% of all load types.

**SOLID & ROBUST CONSTRUCTION**

SVS Series systems are housed in air-cooled IP20 (IEC/BS/EN 60529) / NEMA 1 freestanding steel cubicles, primarily intended for indoor use. These enclosures offer removable panels for ease of installation and servicing and, in addition, on larger three phase models lockable door access is provided. As an option, drip proof cowls can be fitted to deliver IP21 compliance. For more challenging internal or outside use models are also available housed in IP54 / NEMA 3 enclosures.

**TRANSFORMER ASSEMBLIES**

Our Servo Electronic designs are based on conventional, well proven and reliable technology. The fixed main power transformers, buck boost transformers and chokes have insulated copper windings (wire or strip according to current rating requirements) wound on laminated high permeability steel cores. Variable transformers are similarly wound with insulated copper windings on high permeability lengths of strip steel toroidal cores. All transformer assemblies/windings manufactured, or used, conform to relevant BS / IEC specifications as appropriate.

**CUSTOM BUILT SOLUTIONS**

Sinalda UK, with a strong and wide manufacturing base, is able to meet the requirements of customers from our own in-house professional resources. Where bespoke / custom built solutions are required we are able to call upon our extensive portfolio of proven standard designs and tailor offerings to accommodate, without breaking the bank, most individual specific requirements.

**AVAILABILITY**

We offer probably the best availability on AC Voltage Stabilizer & Power Conditioning solutions. Many of our most popular ratings are readily available from stock at the factory or from one of our strategically located Service and Distribution Hubs. Where a solution is not readily available, due to our considerable investment in component inventory and finetuned accredited build processes, we are able to ensure very short lead times on deliveries — even for the largest of models!



**В.С. Шестеренко,**  
Д-р PhD,  
професор



**Ю.А. Чорний,**  
Д-р PhD, доцент

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. академіка І.С. Гулого Національного університету харчових технологій



## СИСТЕМНА МЕТОДОЛОГІЯ АНАЛІЗУ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК НАПРУГИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

**Ключові слова:** напруга, вищі гармоніки напруги, система електрозабезпечення, надійність, енергоефективність.

На сьогодні практично всі провідні країни світу розробляють принципово нову ідеологію побудови та функціонування енергетичної галузі з метою надання безпечного, надійного, економічно доцільного та екологічно прийняттого електрозабезпечення споживачів [1–3, 5–7, 9, 12, 13, 16].

Вплив неякісної напруги на електромагнітні та технологічні втрати проявляється у зростанні втрат потужності та енергії, зменшенні терміну служби обладнання, технологічних збитках, що включають в себе зменшення продукції, зниження якості продукції, випуск неякісної продукції [1–3, 5–7, 9, 13, 15].

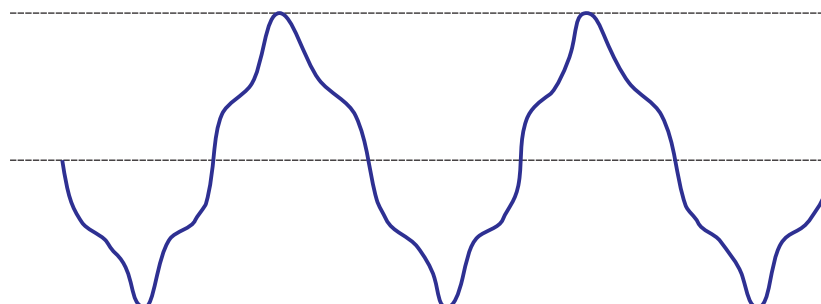
Таким чином, наявність вищих гармонік є однією з найважливіших проблем в системах електропостачання промислових підприємств. Розглянуто шляхи підвищення ефективності систем електрозабезпечення за рахунок зниження технологічних втрат, викликаних неякісною напругою. Причинами такого погіршення є генерація в електричну мережу вищих гармонік, інтер- та субгармонік, наявність у споживачів потужних нелінійних, несиметричних навантажень із різкозмінним режимом роботи. До таких навантажень відносяться дугові електросталеплавильні печі, потужні прокатні стани, електрозварні пристрої, тощо [1–3, 6–8].

Дані навантаження негативно впливають на якість електричної енергії систем електропостачання, до яких вони підключені. Це обумовлено тим, що характер споживання ними активних і реактивних потужностей відповідає їх режиму роботи, що призводить до модуляції у часі амплітуд і фаз складових струму як основної, так і вищих гармонік, які генеруються у електричну мережу. Проблема вищих гармонік — це основна частина проблеми електромагнітної сумісності електрообладнання у зв'язку із збільшенням потужності тиристорних перетворювачів і широким застосуванням електронних систем автоматичного керування, які чутливі до форми синусоїди напруги [1–3, 5–7, 9, 13, 14].

### Принципи виникнення вищих гармонік:

1. Генератор подає синусоїдальну електрорушійну силу, а навантаження має нелінійну характеристику
2. Генератор подає несинусоїдальну електрорушійну силу, а навантаження має лінійну вольт-амперну характеристику.
3. Генератор подає несинусоїдальну електрорушійну силу, а навантаження має нелінійну вольт-амперну характеристику.
4. Генератор подає синусоїдальну електрорушійну силу, а навантаження змінює свої параметри протягом періода частоти струму.

Відхилення форми кривої струму та напруги від синусоїди розглядають з допомогою гармонічних складових за математичною теорією, створеною Фур'є (1768–1830). Термін “гармоніка” використовується в акустиці для позначення коливань струни з частотою, кратній основній частоті коливання [1–3, 5–7, 9, 13].



**Рис. 1.** Несинусоїдність напруги

Вищі гармоніки негативно діють на всі види електрообладнання, навіть на значній відстані від місця генерації гармонік, призводять до помилкових спрацювань відповідальної апаратури, та ін.

Енергосистеми знімають з себе відповідальність за причини виникнення гармонік.

Несинусоїдні напруги та струми це функція, яка задовольняє математичним умовам Дирихле [1, 9]. В зв'язку з цим для технічних розрахунків зручно подати несинусоїдну криву у вигляді суми сталої величини та нескінченного ряду синусоїдних величин, гармонік (рис. 2).

Згідно з теоремою Фур'є:

$$U(t) = U_0 + U_1 \sin(t + \psi_1) + U_2 \sin(2t + \psi_2) + U_3 \sin(3t + \psi_3) + \dots + U_\nu \sin(\nu t + \psi_\nu).$$

де:

- $U_1$  — амплітуда першої гармоніки напруги;
- $U_\nu$  — амплітуда вищої гармоніки напруги,
- $\psi_1$  — початкова фаза першої гармоніки,
- $\psi_\nu$  — початкова фаза вищої гармоніки.

Користуватися вказаними виразами досить складно. Разом з тим у мережах промислових підприємств часто форма напруги спотворюється перетворювачами струму. В цьому випадку значення напруги можна подати у функції кута  $\theta$ . При цьому записані вище вирази спрощуються:

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U \sin\theta d\theta,$$

$$A_\nu = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} U_M \sin\theta \sin\nu\theta d\theta,$$

$$B_\nu = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} U_M \sin\theta \cos\nu\theta d\theta.$$

Несинусоїдність напруги характеризується значенням коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги — відношення дійсного значення суми гармонічних складових змінної напруги до дійсного значення змінної напруги

$$K_{\text{нес}} = 100 \frac{\sqrt{\sum_{\nu=2}^N U_\nu^2}}{U_{\text{ном}}},$$

де:

- $N$  — порядок останньої із гармонічних складових напруги, що враховуються;
- $\nu$  — порядок гармонічної складової напруги;
- $U_\nu$  — діюче значення  $\nu$ -ї гармонічної складової напруги, В.

При визначенні даного показника дозволяється не враховувати гармонічні складові порядку  $\nu > 40$  та такі, значення яких менше 0,1%.

Друга величина — коефіцієнт гармонічної складової — величина, що дорівнює відношенню діючого значення  $\nu$ -ї гармонічної складової напруги до діючого значення напруги основної частоти.

$$K_{U(\nu)} = 100 \frac{U_\nu}{U_1}.$$

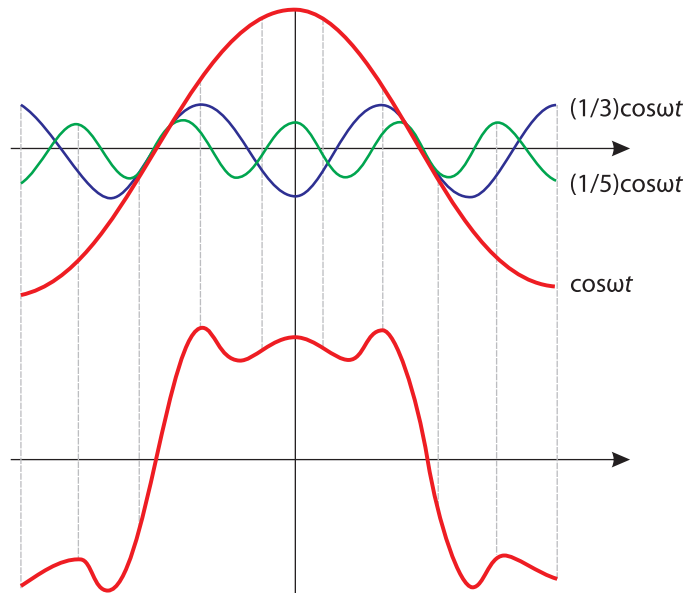


Рис. 2. Принцип гармонічного аналізу несинусоїдної кривої

Допустимі значення коефіцієнта несинусоїдальності такі, %:

| В електричних мережах | Норм. | Гранично доп. |
|-----------------------|-------|---------------|
| Напругою до 1 кВ      | 8     | 12            |
| 6–20 кВ               | 5     | 8             |
| 35 кВ                 | 4     | 6             |
| 110 кВ і вище         | 2     | 3             |

## ДЖЕРЕЛА ВИЩИХ ГАРМОНІК В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

**1. Трансформатор ТП.** Робоча точка трансформатора ТП знаходиться на нелінійній частині характеристики намагнічування, тому в струмі намагнічування трансформатора переважають вищі гармоніки (3 і кратні 3).

**2. Трансформатори ГПП.** Робоча точка цих трансформаторів знаходиться на лінійній частині характеристики намагнічування, тому вони генерують менше вищих гармонік. Але потужність цих трансформаторів в десятки разів більша, ніж трансформаторів ТП.

**3. Люмінесцентні світильники** мають нелінійну вольт-амперну характеристику. В спектрі переважають 3 і гармоніки кратні трьом. Струми цих гармонік складаються в нейтралі і тому струм в нейтральному проводі може бути більший, ніж в лінійних проводах.

**4. Дюгові електропечі.** Потужність трансформатора доходить до 100 МВ·А на одну піч. Найбільше генерується вищих гармонік при розплавленні шихти. В цей період струм трансформатора може змінюватись від струму холостого ходу до струму КЗ. Коли метал розплавлений в спектрі переважають 5, 7, 11, 13 гармоніки.

**5. Електрозварювальні установки.** Переважають 1, 5, 7, 11, 13 гармоніки.

**6. Перетворювачі струму є потужними джерелами вищих гармонік.** Але провали на синусоїді

напруги, що виникають при роботі одного перетворювача, можуть впливати на синхронізацію другого перетворювача або інших пристроїв, в яких необхідно фіксувати момент переходу синусоїди напруги через нуль. Гармоніки напруги можуть призвести або до пропуску відкриття тиристорів, або до зибного відкриття їх, що може викликати коротке замикання з важкими наслідками [1–3, 5–7, 9, 13].

### НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ВИЩИХ ГАРМОНІК НА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Основними формами впливу вищих гармонік на системи електропостачання є: а) збільшення струмів і напруг гармонік внаслідок паралельного і послідовного резонансів; б) зниження ефективності процесів генерації, передачі і використання електроенергії; в) старіння ізоляції електрообладнання та скорочення внаслідок цього терміну його служби; г) помилкова робота устаткування.

Наявність в мережах компенсації реактивної потужності, може призвести до місцевих резонансів, які в свою чергу, можуть викликати надмірне збільшення струму в конденсаторах і вихід їх з ладу [1].

Паралельний резонанс виникає внаслідок високого опору гармонікам струму на резонансній частоті. Так як більшість гармонік відносяться до джерел струму, це викликає збільшення напруги гармонік і великі їх струми в кожній з паралельних гілок.

Паралельні резонанси можуть виникати в різних умовах, найпростіші з них відповідають випадку приєднання конденсаторів до тих самих шин, до яких приєднане джерело гармонік. Резонанс в цьому випадку виникає між джерелом гармонік і конденсатором [1, 2, 9, 13].

Припускаючи опір джерела повністю індуктивним, резонансна частота

$$f_p = f \sqrt{S_{K3}/Q_K},$$

де:

- $Q_K$  — потужність конденсаторів;
- $S_{K3}$  — потужність короткого замикання в точці загального приєднання.

Послідовний резонанс.

На високих частотах опір навантаження може не враховуватися, в той час як опір конденсаторів різко знижується. Резонансна частота цього кола

$$f_p = f \sqrt{\frac{S_T}{Q_K e_{K3}} - 100 - \frac{P_H^2}{Q_K^2}},$$

де:

- $P_H$  — потужність навантаження;
- $S_T$  — потужність трансформатора;
- $e_{K3}$  — напруга короткого замикання, %.

При послідовному резонансі великий струм гармоніки може текти через конденсатор при відносно невеликій напрузі гармоніки. Фактичне значення струму визначається добротністю контуру. Зазвичай вона становить близько 5 на частоті 500 Гц.

Іншою областю, де резонанси можуть приводити до виходу з ладу елементів обладнання, є системи керування навантаженням за допомогою тональних частот. Для того щоб запобігти поглинання сигналів силовими конденсаторами, їх кола поділяються налаштованими послідовними фільтрами (фільтр-пробка). У разі місцевого резонансу гармоніки струму в ланцюзі силового конденсатора різко зростають, що призводить до виходу з ладу налаштованого конденсатора послідовного фільтра.

лів силовими конденсаторами, їх кола поділяються налаштованими послідовними фільтрами (фільтр-пробка). У разі місцевого резонансу гармоніки струму в колі силового конденсатора різко зростають, що призводить до виходу з ладу налаштованого конденсатора послідовного фільтра.

Наявність в мережах конденсаторів, які використовуються для компенсації реактивної потужності, може призвести до місцевих резонансів, які в свою чергу, можуть викликати надмірне збільшення струму в конденсаторах і вихід їх з ладу [1, 11].

Паралельний резонанс виникає внаслідок високого опору гармонікам струму на резонансній частоті. Так як більшість гармонік відносяться до джерел струму, це викликає збільшення напруги гармонік і великі їх струми в кожній з паралельних гілок.

Паралельні резонанси можуть виникати в різних умовах, найпростіші з них відповідають випадку приєднання конденсаторів до тих самих шин, до яких приєднане джерело гармонік. Резонанс в цьому випадку виникає між джерелом гармонік і конденсатором.

$$f_p = f \sqrt{S_{K3}/Q_K},$$

де:

- $Q_K$  — потужність конденсаторів;
- $S_{K3}$  — потужність короткого замикання в точці загального приєднання.

1,3 — навантаження; 2 — джерело гармонік.

Послідовний резонанс.

На високих частотах опір навантаження може не враховуватися, в той час як опір конденсаторів різко знижується. Резонансна частота

$$f_p = f \sqrt{\frac{S_T}{Q_K e_{K3}} - 100 - \frac{P_H^2}{Q_K^2}},$$

де:

- $P_H$  — потужність навантаження;
- $S_T$  — потужність трансформатора;
- $e_{K3}$  — напруга короткого замикання, %.

При послідовному резонансі великий струм гармоніки може текти через конденсатор при відносно невеликій напрузі гармоніки. Фактичне значення струму визначається добротністю контуру. Зазвичай вона становить близько 5 на частоті 500 Гц [1, 3, 5, 9, 12].

**Вплив резонансів на системи електрозабезпечення.** Резонанси в цих системах зазвичай розглядаються стосовно до конденсаторів, і зокрема до силових конденсаторів. При перевищенні гармоніками струму рівнів, гранично допустимих для конденсаторів, останні не погіршують свою роботу, проте через деякий час виходять з ладу.

Іншою областю, де резонанси можуть приводити до виходу з ладу елементів обладнання, є системи керування навантаженням за допомогою тональних частот. Для того щоб запобігти поглинання сигналів силовими конденсаторами, їх кола поділяються налаштованими послідовними фільтрами (фільтр-пробка). У разі місцевого резонансу гармоніки струму в ланцюзі силового конденсатора різко зростають, що призводить до виходу з ладу налаштованого конденсатора послідовного фільтра.

**Вплив вищих гармонік на роботу асинхронних двигунів.** Гармоніки напруги і струму призводять до додаткових втрат в обмотках статора, в ланцюгах ротора, а також в сталі статора та ротора. Втрати в провідниках статора і ротора при цьому більше, ніж які обумовлені омичним опором, через вихрові струми і поверхневий ефект. Струми витоку, викликані гармоніками в торцевих зонах статора і ротора, призводять до додаткових втрат.

У разі асинхронного двигуна з ротором зі скошеними пазами і пульсуючими магнітними потоками в статорі і роторі вищі гармоніки викликають додаткові втрати в сталі. Значення цих втрат залежить від кута скосу пазів і характеристик магнітопроводу.

Середній розподіл втрат від вищих гармонік в двигуні постійного струму, що живиться від випрямляча, становить: обмотки статора 14,2%; ланцюг ротора 41,2%; торцеві зони 18,8%; потоки в пазах 25,8% [1, 3, 5].

За винятком останньої складової втрат, їх розподіл у синхронних машинах приблизно аналогічний. Слід зазначити, що сусідні непарні гармоніки в статорі синхронної машини викликають в роторі гармоніку однакової частоти. Наприклад, 5-а і 7-а гармоніки в статорі викликають в роторі гармоніки струму 6-го порядку, що обертаються в різні боки. Для лінійних систем середня щільність втрат на поверхні ротора пропорційна  $(I_5^2 + I_7^2)$ , проте через різний напрямком обертання щільність втрат в деяких точках пропорційна  $(I_5 + I_7)^2$ .

Додаткові втрати — найбільш серйозний ефект, викликаний гармоніками в машинах, що обертаються. Вони призводять до підвищення загальної температури машини і до місцевих перегрівів, найбільш вірогідним в роторі. Двигуни з ротором типу “біляча клітина” допускають більш високі втрати і температуру, якщо це не призводить до неприпустимої температури статора; тому двигуни з фазним ротором виявляються більш чутливими. Деякі технічні інструкції обмежують допустимий рівень струму зворотної послідовності в генераторі 10%, а рівень напруги зворотної послідовності на вводах асинхронних двигунів 2%. Допустимість гармонік визначають по тому, які рівні напруг і струмів зворотної послідовності вони створюють.

Втрати в асинхронних двигунах, зумовлені  $\nu$ -ю гармонікою:

$$\Delta P_\nu = 3I_\nu^2 r_\nu,$$

де:

$$r_\nu = r_{\text{СТ}\nu} + r_{\text{РОТ}\nu}$$

$r_{\text{СТ}\nu}$ ,  $r_{\text{РОТ}\nu}$  — активний опір статора та приведений активний опір ротора на частоті  $\nu$ -ї гармоніки.

З урахуванням поверхневого ефекту

$$r_{\text{СТ}\nu} = r_1 \sqrt{\nu}$$

$$r_{\text{РОТ}\nu} = r_{\text{РОТ}1} \sqrt{\nu \pm 1}.$$

Для струмів  $\nu$ -ї гармоніки, що створює систему прямої послідовності, береться знак плюс, для зворотної послідовності — знак мінус.

Втрати в обмотках статора для гармоніки  $\nu$ :

$$\Delta_{\text{СТ}\nu} = \Delta_{1\text{НОМ}} \cdot \frac{U_\nu^2 \cdot k_{\text{пуск}}^2}{\nu^2} \cdot \sqrt{\nu};$$

де:

$k_{\text{пуск}}$  — кратність пускового струму при номінальній паузі;

$\Delta P_1 = 3I_{\text{НОМ}}^2 r_0 k_0$  — втрати в обмотці статора при номінальному струмі

$$U_{*\nu} = \frac{U_\nu}{U_{\text{НОМ}}}.$$

де:

$r_0$  — опір фази обмотки статора при температурі обмотки  $\theta$

$k_2 = r_{50}/r$  — коефіцієнт, що враховує поверхневий ефект.

В асинхронних машинах з’являються додаткові моменти на частотах вищих гармонік. Ці моменти можуть призвести до відчутних вібрацій двигуна [1, 3, 5].

Струм гармоніки в статорі машини викликає рушійну силу, що приводить до появи на валу обертових моментів в напрямку обертання магнітного поля гармоніки. Тому обертаючі моменти, які створюються гармоніками, що утворюють пряму послідовність, збігаються з напрямком обертання ротора, а які утворюють зворотну послідовність спрямовані протилежно [1, 2, 9, 13].

При струмі гармоніки  $I_\nu$  обертаючий момент на фазу складе на частоті гармоніки  $I_\nu^2 (r'_{2\nu}/s_\nu)$ , де  $s_\nu$  — ковзання. Наведений до основної частоти момент

$$M_\nu = (I_\nu^2/\nu) \cdot (r'_{2\nu}/s_\nu).$$

Так як  $s_\nu \approx 1$ , обертаючий момент у відносних одиницях

$$M_\nu = (I_\nu^2/\nu) \cdot r'_{2\nu},$$

де:  $I_\nu$  і  $r'_{2\nu}$  також виражені у відносних одиницях.

Використовуючи співвідношення  $U_\nu = I_\nu Z_\nu$  і  $Z_\nu \approx \nu X_1$

$$M_\nu = (U_\nu^2/\nu^3) \cdot (r'_{2\nu}/X_1^2).$$

Момент вібрації, зведений до номінальної напруги:

$$M_{3k}^- = \sqrt{I_{\nu+}^2 + I_{\nu-}^2 - 2I_{\nu+}I_{\nu-}\cos(\Phi_{\nu+} - \Phi_{\nu-})},$$

де:  $I_{\nu+}$  і  $I_{\nu-}$  — відносні струми.

**Лінії електропередачі.** Гармоніки струму в лініях приводять до додаткових втрат електроенергії та напруги.

У разі кабельних ліній гармоніки напруги збільшують вплив на діелектрик пропорційно збільшенню максимального значення амплітуди. Це, в свою чергу, збільшує число ушкоджень кабеля і вартість ремонтів.

У лініях надвисокої напруги гармоніки напруги з тієї ж причини (збільшення амплітуди) можуть викликати збільшення втрат на корону.

В ЛЕП з’являються додаткові втрати енергії та напруги. В кабельних лініях прискорюється старіння ізоляції, збільшується кількість пошкоджень за рахунок зростання амплітуди напруги. В ЛЕП надвисоких напруг зростають втрати на корону.

$$\delta \Delta P_{\text{леп}} = \left( 3I_1^2 + 3I_2^2 + 1.41 \sum_{\nu=2}^{\infty} \sqrt{\nu} I_{\nu}^2 \right) r - \Delta P_{\text{л}},$$

де:  
 $\Delta P_{\text{леп}}$  — втрати в ЛЕП у симетричному та синусоїдальному режимі.

**Трансформатори.** Гармоніки напруги викликають в трансформаторах збільшення втрат на гістерезис, втрат, пов'язаних з вихровими струмами в сталі, і втрат в обмотках. Крім того, скорочується термін служби ізоляції. В трансформаторах збільшуються втрати в обмотках та в сталі. Скорочується термін служби ізоляції. Струми нульової послідовності, що циркулюють в обмотках, з'єднаних трикутником, можуть перевантажити ці обмотки.

Збільшення втрат в обмотках найбільш важливо в разі перетворювального трансформатора, так як наявність фільтра, який приєднується зазвичай до сторони змінного струму, не знижує гармонік струму в трансформаторі. Тому потрібно встановлювати більшу потужність трансформатора. Крім того, спостерігаються локальні перегрівки бака трансформатора.

Додаткові втрати в трансформаторах [1, 3, 5].

$$\Delta P_{\text{Тв}} = 3 \sum_{\nu=2}^N I_{\nu}^2 r_2 k_r,$$

де:  
 $I_{\nu}$  — струм  $\nu$ -ї гармоніки;  
 $r_2$  — опір зворотної послідовності трансформатора;  
 $k_r$  — коефіцієнт, що враховує поверхневий ефект.

Важлива складова впливу гармонік на потужні трансформатори полягає в циркуляції потроєного струму нульової послідовності в обмотках, з'єднаних в трикутник. Це може привести до їх перевантаження.

$$\delta \Delta P_{\text{T}} = \left( 2,67K_2 + 1,62 \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{1+0,05\nu^2}{\nu\sqrt{\nu}} U_{\nu}^2 \right) \frac{S_{\text{НОМ.Т}}}{10^4},$$

де:  
 $K_2$  — напруга оберненої послідовності, %;  
 $U_{\nu}$  — напруга  $\nu$ -ї гармоніки, %.

**Додаткові втрати в конденсаторах.** Ці втрати призводять до перегрівання конденсаторів та виходу їх з ладу.

$$\delta \Delta P_k = \left( 0,003K_2^2 + 0,003 \sum_{\nu=2}^{\infty} \nu U_{\nu}^2 \right) \frac{Q_{\text{НОМ.К}}}{10^4},$$

де:  
 $Q_{\text{НОМ.К}}$  — номінальна потужність батареї конденсаторів.

Батареї конденсаторів. Додаткові втрати в конденсаторах визначаються виразом [1, 3, 5].

$$\delta P = \sum_{\nu=2}^{\infty} \Delta p_0 \omega C \nu U_{\nu}^2,$$

де:  
 $\Delta p_0$  — питомі втрати на основній частоті, кВт/квар;  
 $C$  — ємність конденсатора;  
 $U_{\nu}$  — напруга  $\nu$ -ї гармоніки.

Крім того, на одній з вищих гармонік можливий резонанс, що інколи призводить до збільшення напруги вище номінальної та пробою ізоляції.

### Втрати в діелектриці

$$\Delta P' = U_{\text{НОМ}}^2 \omega C_{\text{НОМ}} \text{tg} \delta_{\text{НОМ}} \sum_{\nu=2}^N \left( \frac{U_{\nu}}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \nu \frac{\text{tg} \delta_{\nu}}{\text{tg} \delta_{\text{НОМ}}},$$

де:  
 $U_{* \nu} = U_{\nu} / U_{\text{НОМ}}$  — відносне значення гармонічної складової напруги,

$\Delta P_{\text{НОМ}} = U_{\text{НОМ}}^2 \omega C_{\text{НОМ}} \text{tg} \delta_{\text{НОМ}}$  — номінальні втрати в конденсаторі від основної гармоніки.

В діапазоні частот 50–1000 Гц можна прийняти незмінним, в діапазоні 1000–3000 Гц значення його збільшується в 1,5 раза [1, 3, 5].

$$\Delta P' = \Delta P_{\text{НОМ}} \left( \sum_{\nu=2}^{20} U_{* \nu}^2 \nu + 1,5 \sum_{\nu=21}^{60} U_{* \nu}^2 \nu \right).$$

В загальному вигляді

$$\Delta P' = 2\pi f_{\text{НОМ}} C_{\text{НОМ}} U_{\text{НОМ}}^2 \text{tg} \delta_{\text{НОМ}} \times \left[ \sum_{\nu=2}^{20} \left( \frac{U_{\nu}}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \nu + 1,5 \sum_{\nu=21}^{60} \left( \frac{U_{\nu}}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \nu \right].$$

Додаткові втрати в ізоляції від корпусу.

$$\Delta P'' = 2\pi f_{\text{НОМ}} C_{\text{НОМ}} U_{\text{НОМ}}^2 \text{tg} \delta_{\text{ізол.}} \sum_{\nu=1}^N \left( \frac{U_{\nu}}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \nu.$$

Додаткові втрати в обкладках конденсаторів

$$\Delta P'' = I_{\nu}^2 r_e \nu = \left( 2\pi f_{\text{НОМ}} C_{\text{НОМ}} U_{\text{НОМ}}^2 \right)^2 r_e k_r \nu^2 \left( \frac{U_{\nu}}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2,$$

де:  
 $k_r$  — коефіцієнт що враховує поверхневий ефект;  
 $r_e$  — опір  $\nu$ -ї ділянки, Ом.

Ці втрати призводять до додаткового нагріву конденсаторів. У загальному випадку конденсатори проектується так, щоб допускати певне струмове перевантаження. Конденсатори, що випускаються у Великобританії, допускають перевантаження 15, в Європі та Австралії 30, в США — 80, в Україні — 30%. При перевищенні цих значень, що спостерігаються в умовах підвищених гармонік напруги на вводах конденсаторів, останні перегріваються і виходять з ладу [1, 3, 7, 15].

**Вплив гармонік на системи дистанційного керування та релейного захисту.** Такі системи часто використовуються для дистанційного керування навантаженням. Хибна робота такої системи може виникнути у випадку, якщо в мережі є гармоніки, частоти яких близькі до частоти системи керування. Амплітуда гармоніки напруги, яка може привести до спрацьовування реле, залежить від його характеристик (чутливості і селективності) і близькості частот впливаючої гармоніки і системи керування.

Можливі два види впливу: а) блокування сигналу, коли гармонійна перешкода не дозволяє виділити керуючий сигнал (наявність конденсаторів може приводити до такого ж результату завдяки їх властивості поглинати напругу підвищеної частоти), б) помилкова робота реле через виникнення гармонік мережі при відсутності керуючого сигналу.

Раніше типи реле, які випускалися були електромеханічними з відповідними фільтрами вищих гармонік. Хоча вони були повільно діючими, але мали хорошу селективність. Проте ці реле були схильні

до помилкових спрацьовувань в зв'язку з низьким ступенем кодування сигналу, що дозволяло впливати на реле гармоніці, що пройшла через фільтр.

Нові реле в основному являють собою електронний еквівалент електромеханічних попередників. Вони зазвичай включають в себе п'єзоелектричні або активні фільтри, а високий ступінь кодування сигналу мінімізує помилкові спрацьовування.

Гармоніки можуть порушувати роботу пристроїв захисту або погіршувати їх характеристики. Характер порушення залежить від принципу роботи пристрою. Цифрові реле та алгоритми, засновані на аналізі вибірки даних або точки перетину нуля особливо чутливі до гармонік.

У більшості випадків зміни характеристик несуттєві. Більшість типів реле нормально працює при коефіцієнті спотворення до 20% [1, 3, 5].

Проблеми, що виникають через гармоніки, різні для нормальних і аварійних режимів.

**Вплив гармонік в аварійних режимах.** Пристрої захисту зазвичай реагують на напругу або струм основної частоти, а всі гармоніки в перехідному режимі або фільтруються, або не впливають на пристрій. Останнє характерно для електромеханічних реле, особливо, які використовуються в максимальному струмовому захисті. Ці реле мають велику інерцію, що робить їх практично нечутливими до вищих гармонік.

Більш істотним є вплив гармонік на роботу захисту, який заснований на вимірюванні опорів. Дистанційний захист, заснований на вимірюванні опорів на основній частоті, може давати суттєві помилки в разі наявності в струмі КЗ вищих гармонік (особливо 3-го порядку). Великий вміст гармонік зазвичай спостерігається у випадках, коли струм КЗ тече через землю (опір землі домінує в загальному опорі контуру). Якщо гармоніки не фільтруються, вірогідність помилкової роботи досить велика. Вищі гармоніки суттєво впливають на роботу релейного захисту, вносячи похибки при вимірюванні опору на основній частоті. Тільки цифрові фільтри забезпечують належну роботу захисту в таких умовах. Проблемою є момент підключення потужних трансформаторів, коли величина струму намагнічування може перевищувати номінальний струм. Амплітуда струму намагнічування залежить від індуктивності трансформатора, опору обмоток та моменту часу, коли відбувається підключення.

У вторинній обмотці в ці моменти струм відсутній. Це може призвести до спрацювання диференційного захисту. Підвищити надійність захисту можна шляхом виділення другої гармоніки з струму намагнічування, яка подається в схему блокування диференційного захисту.

У разі металевого КЗ в струмі й напрузі переважає основна частота. Однак у зв'язку з насиченням трансформатора струму виникає вторинне спотворення кривої, особливо у випадку великої аперіодичної складової в первинному струмі. У цих випадках також виникають проблеми забезпечення нормальної роботи захисту.

У сталих режимах роботи нелінійність характеристики намагнічування, пов'язана з перезбуджен-

ням трансформатора струму, викликає тільки гармоніки непарного порядку. У перехідних режимах можуть виникнути будь-які гармоніки, найбільші амплітуди мають зазвичай друга і третя.

Фільтрація гармонік, особливо в цифрових захистах, найбільш важлива для дистанційних захистів. Ряд робіт, виконаних в області цифрових способів фільтрації, показав, що хоча алгоритми такої фільтрації частот досить складні, отримання потрібного результату не представляє особливих труднощів.

Вищі гармоніки можуть вивести з ладу газорозрядні лампи. До схеми ПРА входить конденсатор, і можливий резонанс на одній з вищих гармонік.

**Реактивна потужність при несинусоїдній напрузі.** Вимірювальні прилади, як правило, калібруються при синусоїдальних струмах та напругах. Тому, в більшості випадків, спотворення синусоїди викликає зростання похибки вище нормованої. Загальний вираз для потужності в мережі [1, 3, 5, 7, 9, 13].

$$P_{\Sigma} = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_v I_v \cos \varphi_v = P_0 + P_1 + P_v,$$

де:

$P_0$  — потужність постійної складової;

$P_1$  — потужність на першій гармоніці,

$P_v$  — потужність на вищих гармоніках.

Коефіцієнт потужності в загальному випадку

$$\cos \varphi = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T u i dt}{UI},$$

де:

$UI$  — діючі значення напруги та струму.

Низьке значення коефіцієнта потужності говорить про неповноту використання потужності джерела.

Міжнародний комітет по поліпшенню коефіцієнта потужності назвав в 1929 році реактивною потужністю складову позірної потужності [1, 3, 5, 9, 11, 15].

$$Q = \sum_1^v U_v I_v \sin \varphi_v = \frac{1}{2\pi} \sum_1^v \int_0^T U_v di_v.$$

Фізичний зміст цього виразу не був узгоджений, але рішення було прийнято по двом причинам:

1) вираз дійсний для синусоїдних лінійних систем;

2) у несинусоїдних системах вираз можна подати, як

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2},$$

де:

$D$  — потужність спотворення.

Компенсація реактивної потужності (КРП) при змінній формі кривих струму і напруги зустрічає труднощі. Так як для КРП використовуються пристрої, які практично не мають втрат, мінімізація уявної потужності мала б вести до оптимального коефіцієнту потужності. Метою КРП за допомогою конденсаторів є поліпшення коефіцієнта потужності в разі синусоїдальної напруги. Поліпшення його при наявності гармонік може бути проведено за допомогою фільтрів вищих гармонік, збільшення частоти перетворювачів або зміною кривої струму [1, 3, 5, 7, 9, 13].

Наприклад, якщо ємність приєднати паралельно навантаженню, загальний вираз для уявної потужності буде мати вигляд

$$S = \left( \sum_1^v U_v^2 + \sum^m U_m^2 \right) \cdot \left\{ \sum_1^v (I_v^2 + U_v^2 v^2 \omega^2 C^2 + 2U_v I_v v \omega C \sin \varphi_v) + \sum^m U_m^2 m^2 \omega^2 C + \sum^p I_p^2 \right\}^{1/2}$$

Якщо взяти похідну по  $C$  і прирівняти її до нуля, то

$$C_{\text{опт}} = - \frac{\frac{1}{\omega} \sum_1^v U_v v I_v \sin \varphi_v}{\sum_1^v U_v^2 v^2 + \sum^m U_m^2 m^2}$$

Вищі гармоніки суттєво впливають на роботу ліній зв'язку. Вони створюють шум і при високому рівні його частина інформації або гу-бється, або спотворюється. Напруга шумів може впливати на лінії зв'язку такими способами: контурною, поздовжньою електромагнітною або поздовжньою електростатичною індукцією, провідністю.

Контурна індукція може бути значною тільки у випадках, коли траси ЛЕП та ліній зв'язку пересікаються.

Поздовжня електромагнітна індукція виникає, якщо ЕРС вводиться вздовж проводів лінії зв'язку. Струм в ЛЕП створює магнітне поле, яке індукуює струми в сусідніх лініях зв'язку.

Поздовжня електростатична індукція виникає, коли ЕРС вводиться між проводами та землею внаслідок ємностей проводів ЛЕП та лінії зв'язку.

Шуми виникають внаслідок гальванічного впливу струмів, що протікають в землі. Ці струми викликають локальні підвищенні потенціалу землі в місцях електродів. Якщо один з кінців лінії зв'язку заземлений в зоні впливу цього потенціалу, виникають струми шумів.

Для оцінки впливу різних гармонік на шуми введено психофотричний коефіцієнт, розроблений

Міжнародним консультативним комітетом по телефонній та телеграфним системам (МККТТ) [1, 3, 5, 7, 9, 13].

Психофотричний коефіцієнт

$$TFF = \frac{U_{\text{ек800}}}{U_{\text{НОМ}}}$$

де:

$U_{\text{ек800}}$  — еквівалентна напруга частоти 800 Гц;

$U_{\text{НОМ}}$  — номінальна напруга ДНІ.

Математично

$$TFF = \frac{1}{U_{\text{НОМ}}} \sqrt{\sum_{f=1}^{\infty} (k_f P_f U_f)^2}$$

де:

$k_f = 1/800$ ;

$P_f$  — психофотрична "вага" завад;

$U_f$  — діюче значення поздовжньої чи поперечної напруги частоти на телефонній лінії.

Рекомендується значення [1, 3, 5, 9, 12].

$$TFF < 0,5 \text{ мВ.}$$

## ВИСНОВКИ

Енергетики все частіше стикаються з проблемою виходу з ладу, без видимої причини, електричного та електронного устаткування. Відбувається перегрівання роторів і швидкий знос підшипників електродвигунів і генераторів, аварії електроприводів, вибухи конденсаторів, регулярний вихід з ладу мікропроцесорної техніки, підгорання нульових проводів, прискорене старіння ізоляції і корозія елементів заземлень. Причина цього — наявність вищих гармонік. Це — найбільш важлива частина проблеми електромагнітної сумісності електрообладнання в зв'язку із збільшенням потужності електроприймачів, що спотворюють синусоїду, та широкого поширення електричних систем автоматичного керування технологічними процесами, які чутливі до форми синусоїди напруги.

Необхідно знати, що фізично вищі гармоніки не існують. Це математична модель несинусоїдної напруги!

## ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова Книга, 2011. 656 с.
2. Шестеренко В.Є. Оптимізація систем електроспоживання промислових підприємств: моногр. Київ: ЧП "Глана", 2001. 214 с.
3. Шестеренко В.Є. Електропостачання промислових підприємств: моногр. Київ, 2013. 424 с.
4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.10.2006.
5. Шестеренко В.Є. Проектування систем електропостачання. К.: ПП "К", 2017. 436 с.
6. Omid Alizadeh Mousavi, Rachid Cherkaoui (2019), Investigation of P-V and V-Q base optimization methods for voltage and reactive power analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 63. 769–778.
7. Шестеренко В.Є., Машенко О.А., Зінкевич П.О. Системи електропостачання: навч. посіб.[Ел. ресурс]. К.: НУХТ, 2025. 295 с.
8. Tasic D.S. Modified Fuzzy Clustering Method for Energy Loss Calculations in Low Voltage Distribution Networks / D.S. Tasic, M.S. Stojanovic. *Electronics and electrical engineering*. 2006. № 2. 50–54.
9. Жежеленко І.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. М.: Энергоатомиздат, 2000. 331 с.
10. Правила користування електричною енергією [Електронний ресурс] / Національна комісія з питань регулювання електроенергетики України. Постанова НКРЕ, документ z0417-96, редакція від 07.05.2010, підстава z0304-10). Режим доступу: <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96>.
11. ДСТУ 2155–93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню [Текст]. [Чинний від 1995-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 1995. 20 с. (Національні стандарти України).
12. Arrillaga J.R.W. Neville ( ), Power System Harmonics. Hoboken, NJ, USA. Wiley, 2003.
13. Salles D. (2012), Assessing the collective harmonic impact of modern residential loads / D. Salles, C. Jiang, W. Xu, W. Freitas, H. E. Mazin. Part I: 14. Methodology, *IEEE Trans. Power Del.* 27(4). 1937–1946.
15. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). [Чинний з 1.10.2014]. К.: Держстандарт України, 2014. 27 с.
16. Технічний регламент з електромагнітної сумісності обладнання. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1077-2015-%D0%BF#Text1>.

V МІЖНАРОДНА  
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

A large graphic of a microchip with a green border and white pins, containing the event title.

**E-Comps  
+  
DigiTec**

**13–15 жовтня 2026**

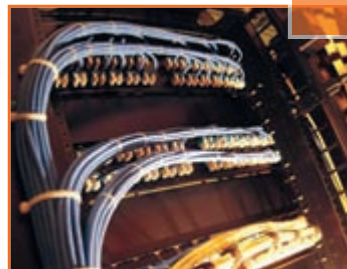


Місце проведення:  
МВЦ, м. Київ,  
Броварський пр-т, 15,  
станція метро «Лівобережна»

Контакти:

+38 (095) 268-05-84  
lyudmila@iec-expo.com.ua  
www.iec-expo.com.ua





Я.С. Бедерак,  
канд. техн. наук  
ПрАТ "Азот"  
м. Черкаси

УДК 621.31

Надійшло  
Received 24.07.2025

## ЗАХОДИ ЗАХИСТУ КАБЕЛІВ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ, ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА ПРИЛАДІВ, ПІДКЛЮЧЕНИХ ДО ВТОРИННИХ ОБМОТОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ, ВІД ВНУТРІШНІХ ПЕРЕНАПРУГ

### ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ

**Мета публікації** — розробити заходи кабелів середньої напруги, сучасних пристроїв релейного захисту та приладів обліку електроенергії, підключених до вимірювальних трансформаторів, від внутрішніх перенапруг.

### ВСТУП

**Приклад впливу внутрішніх перенапруг на електронні пристрої та прилади, підключені до вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму та напруги**

Приєднання № 2 (силовий трансформатор ТМ-1000 напругою 6/0,4 кВ садового товариства (СТ) розподільного пункту (РП) №1 напругою 6 кВ промислового підприємства забезпечує електроенергією велике садове товариство. Приєднання одержує електроенергію по кабелю напругою 6 кВ типу ААБ-6 (з паперово-масляною ізоляцією) перерізом  $3 \times 95 \text{ мм}^2$ . Довжина кабельної лінії 2 км. Нещодавно кабель "приєднання № 2 РП № 1 — трансформатор ТМ-1000 6/0,4 кВ СТ" був пошкоджений. Спочатку на кабелі було однофазне замикання на землю, яке перейшло в міжфазне замикання між жилами. Приєднання відключилося релейним захистом.

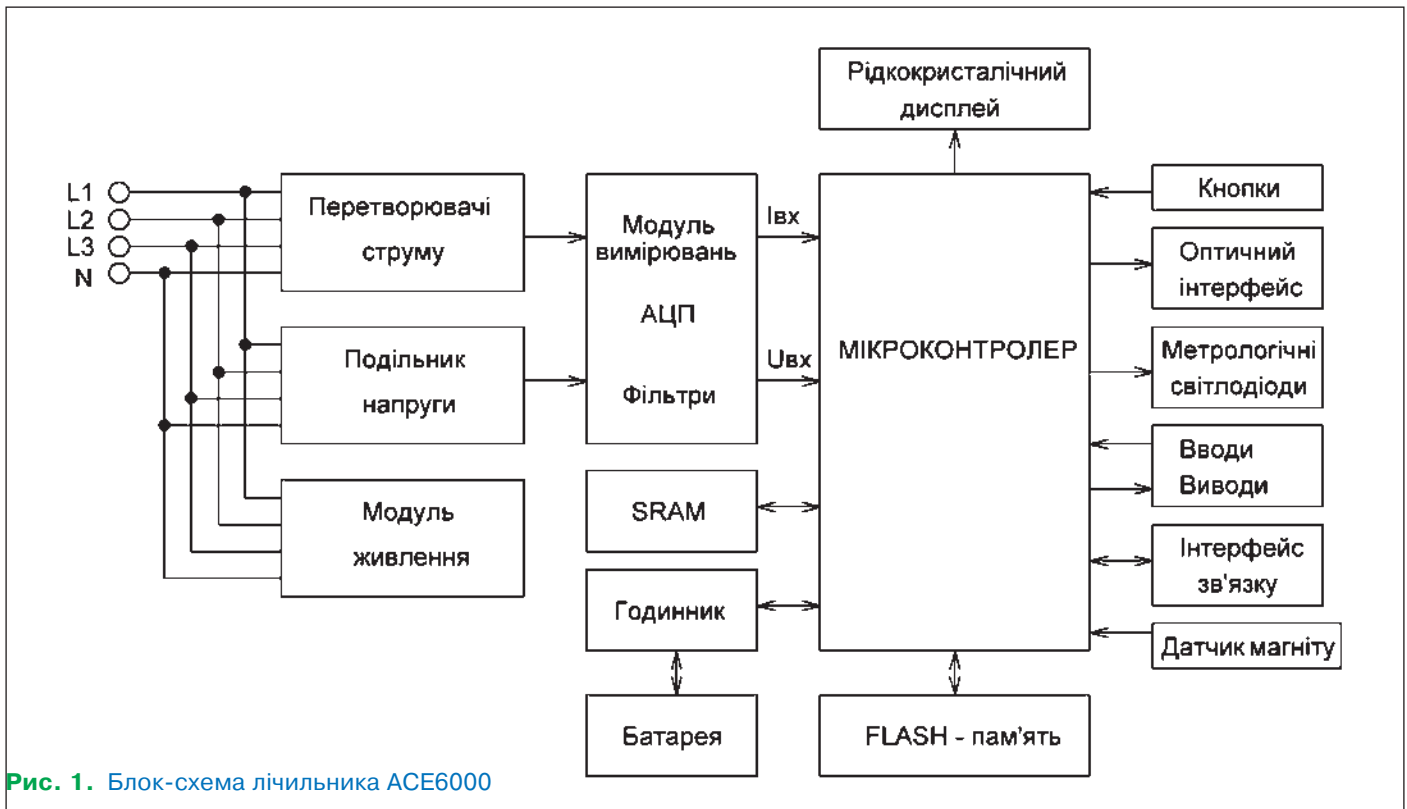
Кабельна мережа напругою 6 кВ не розгалужена, ємнісний струм в мережі невеликий і тому компенсація ємнісних струмів не потрібна.

Ремонтний персонал спочатку пропалив кабель для наступного визначення місця пошкодження, знайшов місце пошкодження, вирив в тому місці кабель та відремонтував його (шляхом встановлення вставки та двох з'єднувальних муфт).

Після проведення ремонтних робіт та проведення випробувань ізоляції кабелю приєднання було введено в роботу.

Електроспоживання садового товариства перевищує 100 000 кВтгодин на місяць. Облік електроенергії забезпечується електронним лічильником електроенергії типу АСЕ6000. Лічильник включений у вторинні кола на напругу 100В та струм 5А.





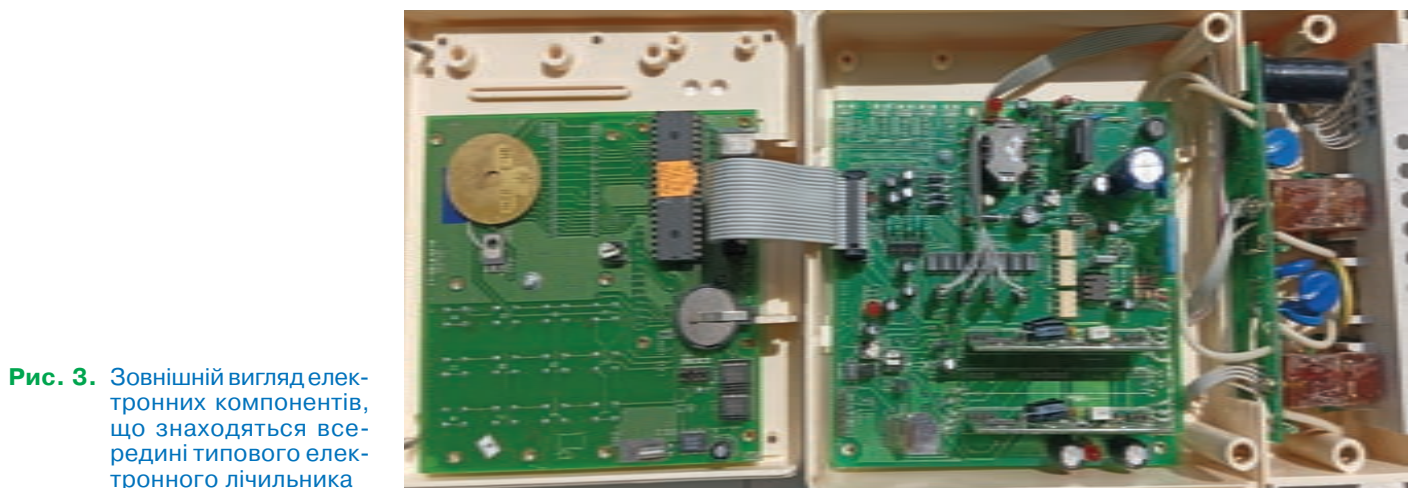
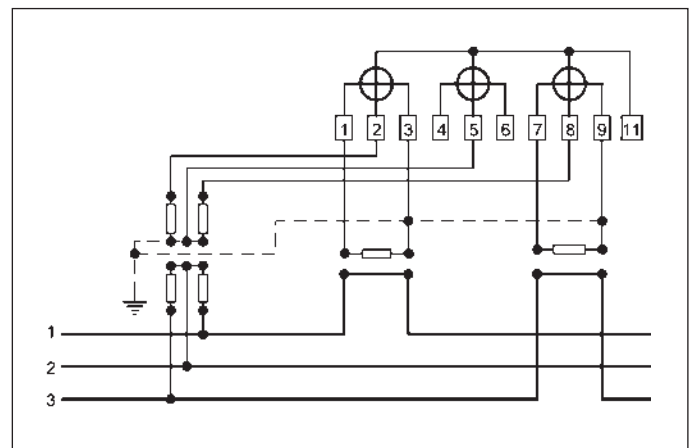
Електронні лічильники електроенергії — це складні електронні пристрої, які забезпечують збір, обробку та передачу облікових даних та параметрів мережі. На **рис. 1** наведена блок-схема лічильника ACE6000.

Типова схема підключення електронного лічильника у вторинні кола вимірювальних трансформаторів струму та напруги зображена на **рис. 2**.

Улаштування типового електронного лічильника представлено на **рис. 3**.

**Рисунок 3** свідчить, що в електронних приладах є велика кількість електронних компонентів, які можуть не витримати перенапруг, котрі виникають при ОКЗ в мережі напругою 6 кВ. ОКЗ небезпечні також для електронних та напівпровідникових (мікроелектронних) пристроїв РЗА.

Після вмикання приєднання № 2 в роботу оперативний персонал, котрий обслуговує РП № 1 через декаду звернув увагу на те, що встановлений на цьому приєднанні **лічильник серії ACE6000** фірми



“Itron” почав недораховувати електроенергію приблизно на 50%.

Спеціалісти з обліку електроенергії перевірили стан обліку на приєднанні № 2. Вони перевірили параметри лічильника. Струм в пам’яті лічильника в кожній фазі склав 17 А замість дійсних 0,3 А. Коли лічильник перезавантажили, то він продовжив роботу в штатному режимі та клас точності в нього став в межах норми.

### ПРИЧИНИ НЕПРАВИЛЬНОЇ РОБОТИ ПРИБАДУ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ (ТА АНАЛОГІЧНИХ ЙОМУ ПРИБАДІВ)

Може бути **дві основних причини неправильної роботи приладів обліку електроенергії.**

#### 1. Внаслідок однофазного короткого замикання (КЗ) на землю однієї з жил живлячого кабелю.

Коли кабель 6кВ у мережі із ізольованою або компенсованою нейтраллю пошкоджується — особливо під час обриву жили чи замикання на оболонку, то найчастіше в такому випадку виникає однофазне замикання на землю (ОКЗ). При однофазному замиканні на землю в мережі із ізольованою нейтраллю напруга неушкоджених фаз щодо землі піднімається до лінійної. Це призводить до підвищення напруги на ізоляції первинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму (ТС) і напруги (ТН), а також на ізоляції кабелю, вторинних кіл і вводів. Якщо в процесі замикання відбувається стрибкоподібний пробій (розряд), то виникають внутрішні перенапруги (хвилеподібні імпульси). В мережі виникають перенапруги (що більше в 2,7÷3,2 рази за фазну напругу  $U_{\phi}$ ) та потужні перехідні процеси. В результаті мають місце виходи з ладу електричних апаратів, збої в електроніці або зависання електронних приладів. Електронні пристрої не розраховані на такі стрибкоподібні перехідні процеси; при значних імпульсах можуть “зависнути”.

При ОКЗ в мережі з ізольованою нейтраллю через вимірювальний трансформатор струму (ТС) 6 кВ проходять тривалі аперіодичні струми, які можуть спричинити перевантаження та збої в підключених до вторинних обмоток ТС електронних, мікроелектронних, напівпровідникових пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА), електронних лічильників.

При перехідних режимах відбувається насичення сердечника ТС через наявність залишкової намагніченості. Виникає спотворення вторинного струму, що може призвести як до хибного спрацьовування РЗА, так і до збільшення часу відключення КЗ (до відмови РЗА). Крім цього, насичення осердя ТС під час перехідних процесів спотворює вторинний струм.

Наведені вище ситуації докладно розглянуті в публікаціях IEEE [1, 2].

В цих публікаціях докладно досліджуються аномалії струму, включаючи перехідні процеси та сплески, котрі спричинені несправностями у вторинному колі вимірювальних трансформаторів струму та напруги, що беруть участь у розрахунковому обліку електроенергії. Ці аномалії призводять до збоїв обліку.

#### 2. В момент пропалювання кабелю 6 кВ на приєднанні, де встановлений прилад обліку.

Спеціальні установки для пропалювання пошкодженого кабелю (так звані установки пропалювання) подають високу напругу (до 10 кВ) зі струмом в десятки ампер, щоб створити стабільну дугу в місці пошкодження і тим самим полегшити локалізацію дефекту (за акустикою, імпульсом тощо).

Висока напруга та струм пропалювання індують імпульси в пошкодженому кабелі, котрі потрапляють у вторинні кола ТС та вимірювального трансформатора напруги (ТН).

Якщо ТН чи його вторинні кола не розраховані такі перенапруги — можливий пробій, “зависання” або пошкодження електронних приладів, підключених до вторинної обмотки ТН.

Пропалювання пошкодженого кабелю часто викликає збої у вторинних колах, особливо при відсутності екранування і фільтрації.

### ЗАХОДИ З ЗАХИСТУ КАБЕЛІВ З ПАПЕРОВО-МАСЛЯНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ ВІД ВНУТРІШНІХ ПЕРЕНАПРУГ

З початку 2000-х років для захисту кабельних ліній від внутрішніх (які викликані однофазними замиканнями на землю та при перемиканнях в мережі 10 кВ) перенапруг в мережі з малими струмами однофазного замикання на землю широко використовуються обмежувачі перенапруг (далі — ОПН). ОПН обмежує амплітуду імпульсу напруги в мережі до безпечного рівня.

Необхідність установки ОПН регламентована п. 4.2.183 Правил улаштування електроустановок [3].

Вибір типу та параметрів ОПН здійснюється проектною організацією. Наявність ОПН дозволяє зменшити кількість та частоту пошкоджень кабелів середньої напруги в мережі.

### ЗАХОДИ З ЗАХИСТУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ, МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ТА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ РЗА, ЕЛЕКТРОННИХ ПРИБАДІВ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІД ВНУТРІШНІХ ПЕРЕНАПРУГ

До вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму та напруги може бути підключено велику кількість електронних та напівпровідникових пристроїв. Наприклад, до затискачів вторинної обмотки трансформатора струму нульової послідовності під’єднуються реле типу РТЗ-50 або РТЗ-51 (або їх сучасні аналоги). До вторинної обмотки вимірювального трансформатора струму класу Р як правило підключені струмові реле серії РС-80 або термінали релейного захисту. Звісно, якщо струмовий захист виконаний на електромеханічних реле, то захищати їх від перенапруг не потрібно. До вторинної обмотки трансформатора напруги під’єднуються реле напруги електронної системи або термінали релейного захисту.

Щоби перешкодити пошкодженню пристроїв РЗА, котрі виконані на електронних компонентах, та електронних приладів електроенергії внаслідок внутрішніх перенапруг в мережі 6÷35 кВ з ізолюваною або компенсованою нейтраллю, пропонується впровадити низку заходів:

### I. Захист від пошкодження приладів та пристроїв дією внутрішніх перенапруг.

1. Екранування вторинних кіл ТС та ТН із заземленням екрана з обох боків або через конденсатор.
2. Установка пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП) та варисторний захист.
3. Розділення кіл комерційного (розрахункового) обліку від кіл технічного обліку та РЗА.
4. Установка фільтрів (RC/LC) на вторинних колах для перешкоджання швидкодіючим перехідним процесам та згладження перехідних імпульсів.

Установка та підключення пристроїв, вказаних вище, можливі тільки після проектних розрахунків та їх вибору.

### II. Захист від пошкодження приладів та пристроїв при пропаленні кабелю.

1. Відключення ОПН в кабельному відсіку перед пропалюванням.
2. Документально оформлена (технічне рішення або розпорядження) на заборону на пропалення без відключення вторинних ланцюгів.
3. Відключення вторинних кіл електронних або напівпровідникових приладів в релейному відсіку перед пропалюванням.
4. Розімкнення або заземлення усіх вторинних кіл ТС (вимірювальних та нульової послідовності) та відключення вторинних кіл ТН.

5. Використання спеціальних випробувальних клем, випробувальних блоків чи колодок для відключення вторинних приладів або пристроїв, котрі живляться від ТС та ТН.
6. Перевірка відсутності підключення будь-яких приладів до вторинних кіл.
7. Перевірка стану ізоляції вторинних кіл після завершення пропалення (щонайменше 1 МОм).
8. Підключення апаратури до вторинних кіл ТС та ТН після закінчення пропалювання кабелю та виконання п. 7.

## ВИСНОВКИ

**1.** Звернуто увагу, що пошкодження електронної апаратури може бути не тільки внаслідок однофазних замикань на землю в мережі з ізолюваною або компенсованою нейтраллю, але й в процесі пропалювання пошкодженого кабелю середньої напруги з паперово-масляною ізоляцією.

**2.** Запропоновано на початку та в кінці кабельної лінії середньої напруги в розподільних установках в відсіках трансформаторів струму комірок напругою 6÷35 кВ встановлювати обмежувач перенапруги. Цей захід дозволить зменшити кількість та частоту пошкоджень кабелів середньої напруги в мережі.

**3.** Розроблено низку заходів, що перешкоджають виходу з ладу електронної, мікроелектронної та напівпровідникової апаратури релейного захисту та автоматики, приладів обліку електроенергії у разі виникнення внутрішніх перенапруг. Запропоновані заходи дозволять підвищити надійність та довговічність роботи електронних приладів та пристроїв, підключених до вторинних обмоток трансформаторів струму та напруги.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Shiliang Chang, Tao Tan, Hongyu Xu, Tianyu Shi, Jing Zou, Yu Wu, Hailin Gu, Yujia Yang. Analysis on the Causes of Abnormal Line Loss Caused by Metering Failure of Primary Gateway Electric Energy Meter / 2023 IEEE 11<sup>th</sup> Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC).
2. Shiliang Chang, Haoyun Liu, Tao Cheng, Ningtao Liu, Mingzhong Zeng, Kai Duan, Chaojun Li. Analysis of the causes of power anomalies caused by faults in the secondary circuit of primary metering / 2024 IEEE 6<sup>th</sup> Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC).
3. Правила улаштування електроустановок. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво "Форт", 2017. 760 с.



**Виконуємо розрахунки рівня електромагнітного поля промислової частоти будь-якої складності на електромережних об'єктах (ЛЕП, РУ ПС та електростанцій, промислових та комунальних підприємствах).**

**Проводимо відповідні вимірювання.**

**E-mail: [krasnozhon08@gmail.com](mailto:krasnozhon08@gmail.com)**

**Тел.: +38 066 612 14 87**





А.М. Манілов,  
інженер

## ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ С ОСОБО СЛОЖНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

В соответствии с п. 1.2.18 ПУЭ электроснабжение электроприемников 1-й категории с особо сложным непрерывным технологическим процессом, который требует длительного времени на восстановление в рабочий режим при наличии технико-экономического обоснования, рекомендуется осуществлять от двух независимых взаиморезервируемых источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса. Отключение электрооборудования, обеспечивающего производство непрерывного характера, может приводить к большим экономическим потерям, т.к. восстановление его нормальной эксплуатации связано с серьезными ремонтными работами. К таким производствам прежде всего нужно отнести металлургические и целлюлозно-бумажные предприятия, являющиеся также и наиболее энергоемкими предприятиями. Поэтому бесперебойное электроснабжение этих предприятий является первоочередной задачей. На атомных и тепловых электростанциях внезапное отключение даже отдельных потребителей может приводить к сложным динамическим переходным процессам технологической части, которые в большинстве случаев сопровождаются полным отключением блоков от сети со всеми негативными последствиями для энергосистемы. Надежное энергоснабжение собственных нужд атомных электростанций тождественно такому понятию как безопасная эксплуатация ядерной паропроизводящей установки. Наиболее распространенным видом повреждения является однофазное дуговое замыкание на землю, которое переходит в короткое замыкание, особенно в сетях с ослабленной изоляцией. Поэтому кабельные линии, к которым подключаются электроприемники со сложным технологическим процессом, должны иметь резистивное заземление нейтрали, которое выполняется с помощью низковольтных резисторов, подключаемых к низкой стороне трансформатора заземления нейтрали, нейтраль которого заземлена со стороны высшего напряжения, и выполнения кабельных линий, класс изоляции которых на одну ступень выше напряжения сети. Распределительная установка указанных электроприемников выполняется из двух секций. Между секциями подключается секционный реактор. В нормальном режиме обе секции работают параллельно. Секционный реактор подключается по продольной схеме, т.е. обе ветви реактора включаются последовательно. Остаточное напряжение на реакторе при коротком замыкании может быть определено по выражению:

$$U_{\text{ост}} = \frac{2(1+K_p)x_p}{2(1+K_p)x_p + x_c},$$

где:

- $x_p$  — сопротивление сдвоенного реактора, Ом;
- $K_p$  — коэффициент связи сдвоенного реактора, о.е.;
- $x_c$  — сопротивление системы, Ом.

Например, при  $K_p=0,5$  Ом,  $x_c=0,1$  Ом,  $x_p=0,6$ , находим:

$$U_{\text{ост}} = \frac{2(1+0,5)0,6}{2(1+0,5)0,6+0,1} = 0,95.$$

Таким образом, при коротком замыкании на шинах, например, первой секции, напряжение на второй (не поврежденной секции) составит 0,95 номинального напряжения. После отключения секционного выключателя напряжение на второй секции возрастает до номинального значения. При коротком замыкании на питающей линии первой секции действует направленная защита, которая отключает вводной выключатель первой секции и саму питающую линию. При этом напряжение на второй секции кратковременно уменьшается до 0,95 номинального, а после отключения выключателя защитой напряжение на второй секции восстанавливается. При случайном отключении, например, первой секции, напряжение на этой секции сохраняется и равняется номинальному. При кратковременном нарушении



электроснабжения промышленных комплексов с особо сложными и непрерывными технологическими процессами может происходить потеря как динамической устойчивости электрической нагрузки, так и технологической устойчивости самого объекта. Под динамической устойчивостью объекта понимается способность вернуться в исходное состояние после кратковременного нарушения электроснабжения

(КНЭ). Под технологической устойчивостью подразумевается способность объекта при КНЭ в течение некоторого времени удерживать параметры технологического процесса в допустимых границах. Продолжительность перерыва электроснабжения, при которых обеспечивается технологическая устойчивость, колеблется в широких пределах — от сотых секунды до нескольких секунд.

## ОБ ИСКЛЮЧЕНИИ НЕПРЯМОГО ПРИКОСНОВЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ИЛИ ЖИВОТНЫХ К ПОВРЕЖДЁННОЙ ТОКОВЕДУЩЕЙ ЧАСТИ ИЗОЛЯЦИИ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 1–35 кВ

Во время случайного прикосновения человека или животных к токоведущему элементу, находящемуся под напряжением, превышающее предельное значение, большая плотность тока в точке касания вызывает сверхсильные раздражения рецепторов кожной чувствительности. Мгновенное неожиданное появление боли нарушает регулирующие функции защитных систем организма, наступает молниеносная гипоксия (недостаточное снабжение мозга кровью), которая приводит к потере сознания (параличу высших функций органов головного мозга), рефлекторному расстройству кровообращения и глубокому нарушению регуляторной деятельности центральной нервной системы. Центры управления сердечно-сосудистой системы и дыхания получают адекватные сигналы и рефлекторно вызывают или фибрилляцию сердца, или дыхания, либо то и другое, что приводит к клинической смерти. В ряде случаев раздражение клеток, обладающих определенным пределом работоспособности, настолько велико, что они погибают. Мозговые функции необратимо прекращаются – наступает моментальная смерть, хотя кровообращение и самостоятельное дыхание еще некоторое время могут сохраняться. Тяжесть электротравмы при рефлекторном механизме поражения зависит от комплекса взаимосвязанных между собой факторов: интенсивности и продолжительности воздействия тока, места прикосновения человека к токоведущему элементу, индивидуальной восприимчивости (реактивности) его к боли, физического и особенно психического состояния в момент травмы. В зависимости от этих факторов значение смертельно опасного тока (напряжения) может находиться в широком диапазоне – от нескольких до сотен миллиампер. Действие рефлекторного механизма поражения может происходить при любом пути протекания тока, даже через палец. Наиболее частой причиной смертельного исхода при рефлекторном действии тока является поражение дыхательного центра, реже фибрилляция. Весьма опасно протекание тока через голову человека. При непосредственном воздействии

на нервные клетки даже слабый ток (около 1 мА) вызывает неприятные безболезненные мерцания, которые остаются на некоторое время и после его отключения. Как показывает анализ случаев летального исхода, при протекании через голову тока от сети 12 В смерть пострадавших наступала через несколько минут после сильного перевозбуждения. Приблизительное значение тока при этом — 5–7 мА, время действия — 1 секунда. При прикосновении и захвате токоведущего элемента, находящегося под напряжением более 1 кВ, тяжесть последствия чаще всего наступает от ожога дугой, при этом наблюдается также повреждение различных органов и тканей, сопровождающееся инфицированием и сепсисом. Возрастание степени поражения в зависимости от напряжения происходит практически линейно.

В электроустановках напряжением 35 кВ ожоги могут появляться и без непосредственного контакта с токоведущим элементом, а лишь при случайном приближении на опасное расстояние. Когда это расстояние меньше или равно разрядному, возникает искровой разряд, в последствии переходящий в электрическую дугу. В месте ожога при рассматриваемой травме мгновенно погибают чувствительные рецепторы кожного покрова. Сопротивление тела человека резко уменьшается.

Указанные травмирующие ситуации при непрямом прикосновении человека или животных не зависят от достаточности или недостаточности изучения механизма поражения человека или животных током. Поэтому необходимо упредить не прямое прикосновение человека к токоведущим элементам. Для исключения непрямого прикосновения человека к токоведущему элементу необходимо предусмотреть электропроводящую оболочку внутри кабеля. Тогда при повреждении изоляции ток будет протекать через эту оболочку, вызывая отключение поврежденной линии. В этих условиях человек или животные практически не касаются поврежденной изоляции, а вероятность такого совпадения прикосновения к наружному покрытию кабеля при пробое основной изоляции ничтожно мала.



Я.С. Бедрак,  
канд. техн. наук

ПрАТ «Азот»  
м. Черкаси



УДК 621.31

Надійшло  
Received 28.11.2025

## ЗАХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОЇ РОБОТИ ПРИБАДІВ, ЩО ВХОДЯТЬ ДО СКЛАДУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПІДПРИЄМСТВ

### ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ

**Мета публікації** — розробити нові та узагальнити існуючі заходи, що забезпечать достовірну роботу приладів обліку, котрі входять до складу автоматизованих систем технічного обліку електроенергії (АСТОЕ) споживачів.

### ВСТУП. СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОРГАНІЗАЦІЮ РОБОТИ ТЕХНІЧНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

Головні завдання АСТОЕ на підприємствах:

- забезпечення внутрішнього госпрозрахунку за енергоресурси між цехами й підрозділами заводу з метою їх економії та раціональних витрат на робочих місцях;
- точний розрахунок із субабонентами підприємства за енергоспоживання з метою справедливого розподілу енерговитрат.

Кількість спожитої електроенергії обчислюється за показниками електронних лічильників електроенергії. Лічильник електроенергії, вимірювальні трансформатори струму та напруги входять у склад вимірювальних каналів (ВК). Вимірювальні прилади та електричні апарати, з яких складаються ВК, вносять похибку у виміри, а часткове пошкодження або повна відмова їх в роботі призводять до грубих спотворень облікових даних. Інколи дані про електроспоживання передаються з лічильника електроенергії через пристрої збору та передачі даних (ПЗПД). Трапляються ситуації, коли внаслідок помилок в роботі ПЗПД на сервер також надходять недостовірні облікові дані. Тому необхідність у постійному забезпеченні достовірності первинних облікових даних є очевидною.

АСТОЕ у загальному випадку містять три рівні [1]:

- *нижній рівень* — вимірювальні перетворювачі — ВП (датчики, лічильники) з телеметричними виходами або цифровими інтерфейсами, що здійснюють безупинно або з мінімальним інтервалом усереднення вимір параметрів енергоспоживання споживачів;

- *середній рівень* — контролери (спеціалізовані вимірювальні системи або багатофункціональні програмовані перетворювачі) з програмним забезпеченням з енергообліку, що здійснюють у заданому циклі інтервалу усереднення цілодобовий збір вимірювальних даних;
- *верхній рівень* — персональний комп'ютер (ПК) зі спеціалізованим програмним забезпеченням, що здійснює збір інформації з контролера (або групи контролерів) середнього рівня, підсумкову обробку цієї інформації як у місця обліку, так і в їхніх групах — у структурних підрозділах і об'єктах підприємства, відображення й документування даних обліку у вигляді, зручному для аналізу й прийняття рішень (керування) оперативним персоналом служби головного енергетика й керівництвом підприємства.

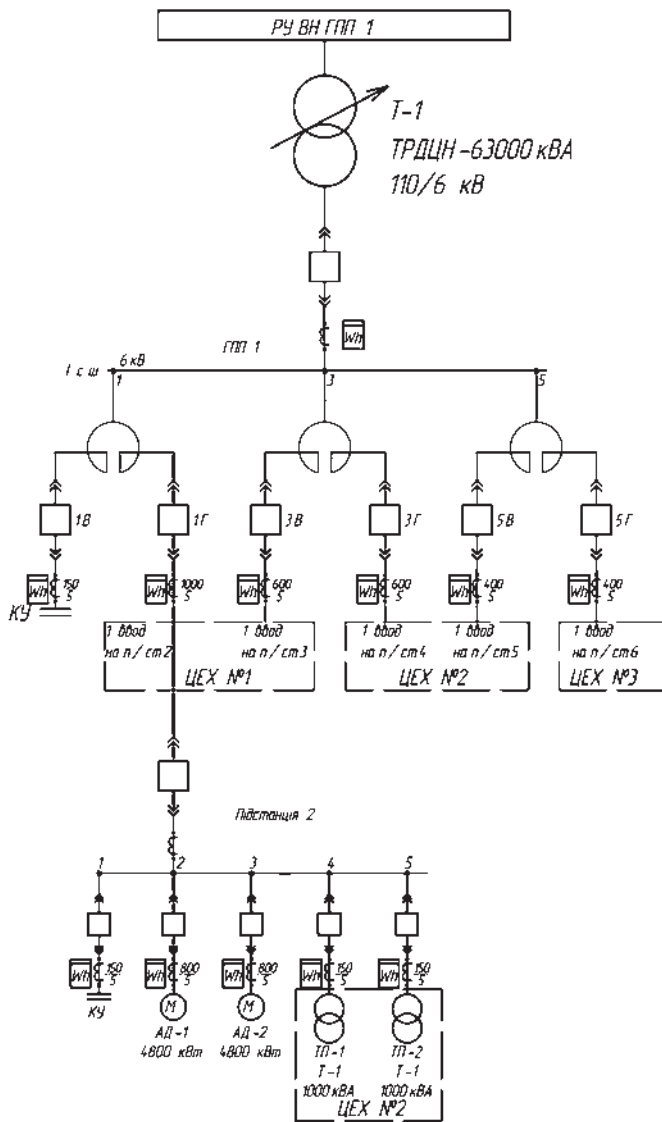
Нижній рівень систем обліку підключається до верхнього за допомогою кількох імпульсних (телеметричних) виходів або послідовними каналами зв'язку (RS-232, RS-485, струмова петля).

Є два принципи побудови АСТОЕ для схем електропостачання потужних промислових підприємств (ПП), аналогічних **рис. 1**.

Перший принцип побудови АСТОЕ — це принцип забезпечення балансу електроенергії на прийомі та віддачі її (балансовий принцип). При цьому забезпечується верифікація даних АСТОЕ. Розпочинати впровадження АСТОЕ необхідно з складання так званої "скелетної схеми обліку електроенергії структурними підрозділами на підприємстві". Фрагмент скелетної схеми в такому випадку наведений в **табл. 1**.

Коефіцієнт обліку приєднання — це добуток коефіцієнтів трансформації вимірювальних трансформатору струму на приєднанні та трансформатора напруги на секції шин. Наприклад, для приєднання 1Г (**рис. 1**) коефіцієнт обліку дорівнює  $(1000/5) \cdot (6000/100) = 12000$ .

Переваги балансового принципу — забезпечення точності роботи приладів обліку за рахунок зведення балансу прийому та віддачі електроенергії на секції шин підстанції.



**Рис. 1.** Приклад схеми електропостачання цехів ПП

Наприклад, величина електроспоживання на приєднанні 1Г ГПП 01 дорівнює сумі величин його на приєднаннях 1, 2, 3, 4, 5 підстанції 2 (без урахування втрат енергії в лінії електропередачі). За

**Таблиця 1.** Скелетна схема обліку електроенергії структурними підрозділами балансовим методом

| № п/п        | № фідера (приєднання) | На якій підстанції облік, місце підключення | Назва устаткування, назва підрозділу, на який іде облік | Коефіцієнт обліку | Розрахункова величина середньомісячного електроспоживання, кВт·год | Додавати або віднімати |
|--------------|-----------------------|---|---|-------------------|--|------------------------|
| <b>Цех 1</b> |                       |   |   |                   |  |                        |
| 1            | 1Г                    | ГПП 1                                       | 1 ввід на п/ст 1  | 12000             | —  | Додавати               |
| 2            | 3В                    | ГПП 1                                       | 1 ввід на п/ст 2  | 7200              | —  | Додавати               |
| 3            | 2                     | П/ст 2                                      | АД-1 4800 кВт   | 1800              | —  | Додавати               |
| 4            | 3                     | П/ст 2                                      | АД-2 4800 кВт   | 1800              | —  | Додавати               |
| 5            | 1                     | П/ст 2                                      | КУ  | 1800              | —  | Додавати               |
| <b>Цех 2</b> |                       |   |   |                   |  |                        |
| 1            | 3Г                    | ГПП 1                                       | 1 ввід на п/ст 3  | 12000             | —  | Додавати               |
| 2            | 5В                    | ГПП 1                                       | 1 ввід на п/ст 4  | 7200              | —  | Додавати               |
| 3            | 4                     | П/ст 2                                      | ТП-1 Т-1  | 1800              | —  | Додавати               |
| 4            | 5                     | П/ст 2                                      | ТП-2 Т-1  | 1800              | —  | Додавати               |
| ....         |                       |   |   |                   |  |                        |

**Таблиця 2. Скелетна схема обліку електроенергії структурними підрозділами за залишковим принципом**

| № п/п        | № фідера (приєднання) | На якій підстанції облік, місце підключення | Назва устаткування, назва підрозділу, на який іде облік | Коефіцієнт обліку | Розрахункова величина середньомісячного електроспоживання, кВт·год | Додавати або віднімати |
|--------------|-----------------------|---|---|-------------------|--|------------------------|
| <b>Цех 1</b> |                       |   |   |                   |  |                        |
| 1            | 1Г                    | ГПП 1                                       | 1 ввід на п/ст 1  | 12000             | —  | Додавати               |
| 2            | 3В                    | ГПП 1                                       | 1 ввід на п/ст 2  | 7 200             | —  | Додавати               |
| 3            | 4                     | П/ст 2                                      | ТП-1 Т-1  | 1800              | —  | Віднімати              |
| 4            | 5                     | П/ст 2                                      | ТП-2 Т-1  | 1800              | —  | Віднімати              |
| <b>Цех 2</b> |                       |   |   |                   |  |                        |
| 1            | 3Г                    | ГПП 1                                       | 1 ввід на п/ст 3  | 12000             | —  | Додавати               |
| 2            | 5В                    | ГПП 1                                       | 1 ввід на п/ст 4  | 7 200             | —  | Додавати               |
| 3            | 4                     | П/ст 2                                      | ТП-1 Т-1  | 1800              | —  | Додавати               |
| 4            | 5                     | П/ст 2                                      | ТП-2 Т-1  | 1800              | —  | Додавати               |
| ...          |                       |   |   |                   |  |                        |

наявності приладів обліку, що підключені в АСТОЕ, на приєднаннях можливо організувати розрахунок втрат в силових трансформаторах, кабельних або повітряних лініях, струмообмежувальних реакторах, а також на власні потреби ГПП. Це дозволить розрахувати точний відсоток втрат в мережі ПП та впроваджувати заходи з їх зменшення.

Недолік балансового принципу — збільшення кількості точок обліку, під'єднаних до АСТОЕ.

Другий принцип побудови АСТОЕ — залишковий. Він потребує меншої кількості приладів обліку, але забезпечити достовірність даних технічного обліку при цьому неможливо (**табл. 2**).

За такого принципа побудови технічного обліку електроенергії не потрібно встановлювати прилади обліку на приєднаннях 1, 2 та 3 підстанції 2. При обмеженому бюджеті для впровадження АСТОЕ необхідно на ГПП 1 на усіх приєднаннях секції шин 10 (6) кВ встановлювати прилади обліку та інтегрувати їх в АСТОЕ, а на тупикових підстанціях 10 (6) кВ при невеликих обсягах електроспоживання на приєднаннях, що відходять, доцільно організувати технічний облік електроенергії за залишковим принципом. Такий захід дозволить забезпечити баланс електроенергії між технічним та комерційним обліком електроенергії на секціях шин ГПП та скоротити затрати на впровадження АСТОЕ.

Зустрічаються ситуації, коли від електроустановки одного цеху підключений невеликий за потужністю споживач, що належить до другого цеху. В залежності від його потужності необхідно або розрахувати величину середньомісячного електроспоживання за даними про потужність встановлених електроприймачів та коефіцієнтом використання їх, або встановити електричний лічильник.

Значення допустимого небалансу електроенергії у відсотках  $НБ_{\text{д}}$  визначається за **формулою (1)**, що враховує максимально допустимі відносні похибки  $\delta W_i$  кожного вимірювального каналу, а також частку електроенергії  $d_i$ , котра надійшла по всіх вимірювальних каналах прийому електроенергії  $N_{\text{п}}$ , і частку електроенергії  $d_j$ , що надійшла по всіх вимірювальних каналах її відпуску  $N_{\text{о}}$  [2]:

$$НБ_{\text{д}} = \pm \sqrt{\left( \sum_{i=1}^{N_{\text{п}}} \delta_{W_i}^2 d_i^2 + \sum_{j=1}^{N_{\text{о}}} \delta_{W_j}^2 d_j^2 \right)} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Максимально допустима відносна похибка вимірювального каналу розраховується за виразом [2]:

$$\delta W_i = \pm \sqrt{\delta_i^2 + \delta_U^2 + \delta_{\text{лч}}^2 + \delta_{\text{л}}^2}, \quad (2)$$

де  $\delta_i$ ,  $\delta_U$ ,  $\delta_{\text{лч}}$ ,  $\delta_{\text{л}}$  — похибки трансформатора струму (ТС), трансформатора напруги (ТН), лічильника, в лінії від лічильника до трансформатора напруги внаслідок втрат у ній відповідно.

У разі, коли  $НБ_{\text{ф}}$  не перевищує  $НБ_{\text{д}}$ , облік електроенергії може бути визнаний достовірним. З досвіду, розбіжність між  $НБ_{\text{ф}}$  та  $НБ_{\text{д}}$  теоретично (для ситуації, коли є один лічильник класу точності 0,5 на вводі секції шин 6 кВ, три лічильники класу точності 1,0 на приєднаннях технічного обліку, трансформатори струму та напруги повсюди класу точності 0,5) досягає згідно **формули (2)** 1,2–1,5%, але у зв'язку з малим завантаженням трансформатора струму може на практиці досягати й 3%.

Коли вже небаланс перевищує 4–5% від величини електроспоживання на комерційному обліку, то необхідно вже приймати заходи для усунення можливого дефекту. У такій ситуації облік є недостовірним, і електротехнічний персонал підприємства повинен з'ясувати причини небалансу та вжити заходів щодо їх усунення.

Слід зазначити, що усунути “погані” дані у вимірах можна у ранні терміни, якщо контрольні функції виконувати щодоби протягом місяця. Таку обчислювальну процедуру здійснити нескладно за наявності у підприємства автоматизованих систем комерційного та технічного обліку електроенергії.

Основні труднощі під час доказу облікових даних виникають на етапі пошуку несправного вимірювального комплексу.

Верифікація — комплекс процедур з перевірки повноти, точності і достовірності даних вимірювань (обліку) електроенергії.

Приладами обліку в АСТОЕ є електронні лічильники електроенергії, які передають інформацію або зразу на сервер, або через пристрої збору-передачі даних (ПЗПД). Як в лічильниках, так і в ПЗПД можуть виникнути збої, що можуть привести до передачі невірної інформації на сервер АСОЕ.

Для перевірки (верифікації) даних електроспоживання можна використовувати ряд прийомів. Для кожного лічильника електроенергії необхідно обрати відразу кілька критеріїв, які будуть використовуватися на різних інтервалах часу для перевірки даних. За критерії неправильної роботи пристроїв та приладів обліку можуть бути обрані:

- аварійні сигнали від лічильника;
- порушення меж з співвідношення активної та реактивної потужності на приєднанні;
- різниця показань основного та дублюючого лічильників (при наявності останнього);
- значна відмінність вимірюваного обсягу електроенергії від планового;
- неспівпадіння даних поточного вимірювання з даними вимірювань за попередні аналогічні періоди часу;
- великі зміни обсягів вимірюваної електроенергії в  $i$ -й інтервал часу в порівнянні з обсягами електроенергії за сусідні інтервали часу  $i+1$ -й та  $i-1$ -й.

Незалежно від принципу побудови системи (балансового чи залишкового) необхідною умовою коректної роботи АСТОЕ є регулярна перевірка достовірності первинних даних.

Нижче наведено комплекс практичних заходів, що дозволяють забезпечити контроль правильності роботи вимірювальних каналів АСТОЕ.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА. ЗАХОДИ, ЩО ЗДАТНІ ЗАБЕЗПЕЧИТИ ДОСТОВІРНУ РОБОТУ ПРИЛАДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

### 1. Перевірка облікових даних про електроспоживання на грубі помилки.

Проводиться така процедура або за допомогою  $t$ -критерію Стюдента або критерію Ірвіна [3].

Для виявлення аномальних значень часових рядів найчастіше використовується критерій Ірвіна, згідно з яким у часовому ряді  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  з середнім значенням  $\bar{Y}$  аномальним вважається значення  $Y_t$  у тому випадку, якщо значення критерію Ірвіна для цього значення перевищує допустиме (табл. 3):

$$\lambda_t = \frac{|Y_t - Y_{t-1}|}{\sigma}$$

де:  $\lambda_t$  — критерій Ірвіна;  $Y_{t-1}$  — значення, що передує;  $\sigma$  — середньоквадратичне відхилення, що розраховується за виразом

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}{n-1}}$$

Тобто, у часовому ряді  $Y_t$  — аномальне значення, якщо  $\lambda_t > \lambda_{\text{доп}}$ . Допустимі значення  $\lambda_{\text{доп}}$  зменшуються із зростанням довжини ряду  $n$ .

Таблиця 3. Допустимі значення критерію Ірвіна

| n                      | 10  | 20  | 30  | 50  | 100 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\lambda_{\text{доп}}$ | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |

Доцільно автоматизувати перевірку облікових даних на грубі помилки з використанням комп'ютерних програм.

### 2. Визначення діапазону зміни потужності на кожному приєднанні.

Доцільно в кожній точці обліку встановити високу/низьку межі з потужності залежно від зміни навантаження за встановлений період часу (наприклад, рік) та встановленої потужності приєднання.

Бувають три види електричних приєднань, на яких встановлюються межі потужності:

1. Ввід на тупикову підстанцію 35 (10) або 6 кВ.
2. Приєднання трансформатора напругою 35 (10) (6)/0,4 кВ.
3. Приєднання електродвигуна (асинхронного або синхронного) напругою 6 кВ.

Для першого виду встановлюються за ретроспективними даними за обраний період нижні та верхні межі щодо кожного приєднання. Необхідно також враховувати переведення навантаження в ручному режимі або автоматичному (внаслідок роботи АВР) з відключеного вводу на працюючий. Верхня межа може бути обмежена пропускною спроможністю лінії електропередачі.

Аналогічно вибираються межі навантаження приєднання трансформатора. Нижня межа обирається за значенням потужності неробочого ходу, а верхня межа буде обмежена потужністю силового трансформатора з урахуванням його перевантажувальної здатності (10–20%).

Проблемою є вибір допустимих інтервалів циклічного навантаження. Вибрати їх можливо, знаючи лише кількість, потужність та час роботи кожного електроприймача.

Для третього виду межа навантаження в амперах змінюватиметься від струму неробочого ходу електродвигуна до номінального струму  $I_H$ .

Існує формула обчислення струму неробочого ходу асинхронного електродвигуна [4] при номінальній напрузі  $U_{\text{нх}}$ , який приблизно дорівнює струму неробочого ходу синхронного електродвигуна тієї ж потужності і тієї ж кількості обертів

$$I_{\text{нх}} = I_H \left( \sin \varphi_{\text{н}} - \frac{\cos \varphi_{\text{н}}}{2b_{\text{н}}} \right),$$

де:  $b_{\text{н}}$  — кратність максимального моменту;  $\cos \varphi_{\text{н}}$  — номінальний коефіцієнт потужності [4].

### 3. Звірка (порівняння) обсягу електроспоживання за розрахунковий період (декаду або місяць) по кожному приєднанню технічного обліку.

Автоматизовані системи технічного обліку електроенергії (АСТОЕ) забезпечують збирання, зберігання та обробку великого масиву даних, одержуваних від електронних лічильників. Однак практика показує, що навіть за правильно побудованої сис-

**Таблиця 4. Шаблон таблиці для звірювання облікових даних по одній з підстанцій ПП (п/ст. 6 кВ №39)**

| № фідера | Показники лічильника |         | Коефіцієнт обліку | Споживання за місяць за показниками лічильника $WP_n$ , кВт·год | Дані з ПЗПД |          | Коефіцієнт ПЗПД | Споживання за місяць по серверу $WP_c$ , кВт·год | Відносна похибка $\delta$ , % |
|----------|----------------------|---------|-------------------|---|-------------|----------|-----------------|--|-------------------------------|
|          | Початкові            | Кінцеві |                   |   | Початкові   | Кінцеві  |                 |  |                               |
| 3929     | 14,2                 | 14,9    | 1800              | 1260  | 2497229     | 2505531  | 0,15            | 1245,3   | -0,27                         |
| 3925     | 146,3                | 152,1   | 1800              | 10440   | 30290376    | 30359954 | 0,15            | 10436,7  | -0,14                         |
| 3905     | 396,6                | 405,8   | 1800              | 16560   | 42644560    | 42755716 | 0,15            | 16673,4  | -0,14                         |
| 3906     | 31,4                 | 32,6    | 1800              | 2160  | 4682604     | 4696890  | 0,15            | 2142,9   | -0,04                         |
| 3920     | 50,3                 | 51,0    | 1800              | 1260  | 6855745     | 6864503  | 0,15            | 1313,7   | 0,02                          |
| 3902     | 46,2                 | 47,6    | 1200              | 1680  | 32571036    | 32587620 | 0,10            | 1658,4   | -0,14                         |
| 3928     | 325,0                | 327,4   | 1200              | 2880  | 37490224    | 37518928 | 0,10            | 2870,4   | -0,08                         |
| 3907     | 45,3                 | 47,3    | 1200              | 2400  | 13401172    | 13424517 | 0,10            | 2334,5   | -0,28                         |

теми можуть виникати розбіжності між показаннями лічильників та обчисленими сервером значеннями енергії та потужності.

Порівняння проводиться між даними з серверу технічного обліку та обсягом електроспоживання, що одержується по кожному з приладів обліку.

Така звірка може проводитися двома шляхами:

**1.** Спеціально навченим персоналом з пам'яті лічильника. В цьому випадку необхідно персоналу служби, що відповідає за облік, мати ноутбук, програму роботи з електронними лічильниками технічного обліку та транспорт, щоби оперативно проїхати по усім точкам обліку та зняти необхідну інформацію про електроспоживання за обраний період.

**2.** Якщо такої можливості немає, то звірка проводиться оперативним або оперативно-ремонтним електротехнічним персоналом на підставі коефіцієнту обліку та за початковими та кінцевими показниками приладу обліку.

Щоб визначити електроспоживання за місяць, наприклад, то необхідно електротехнічним працівникам два рази підійти до лічильників (на початку місяця та в кінці і як найточніше зняти покази на 0 годин 1-го числа минулого місяця та на 0 годин 1-го числа поточного місяця). Доцільно записувати показники з лічильників в один і той же час. Для достовірності облікових даних необхідно робити їх фото- або відеофіксацію.

Звісно, оперативні працівники не можуть точно в 0-00 годин першого числа місяця записати показники з великої кількості приладів обліку одночасно, тому в залежності від кількості точок обліку вони записують їх в інтервалі з 23-00 до 1-00 першого числа. Треба розуміти, що це вже викликає похибку  $\delta$  за місяць з тридцятьма добами  $100 \cdot 1/720$  або 0,14%.

Облікові дані можна записати, наприклад, в **табл. 4.**

Після цього розраховується різниця показів і вона перемножується на коефіцієнт обліку по певному приєднанню (**табл. 4**). З деякою похибкою (декілька відсотків) ці дві цифри (значення електроспоживання за даними серверу та при ручному знятті показів) повинні збігатися. Похибка  $\delta$  розраховується за формулою:

$$\delta = \frac{WP_n - WP_c}{WP_n} 100\%.$$

Допустиме значення похибки з досвіду проведення таких звірок не повинно перевищувати 4–5%.

Такий захід забезпечує правильну роботу лічильників електроенергії, пристрою збору-передачі даних та ліній зв'язку.

Регулярне проведення звірки (не рідше 1 раз на 2 роки) дозволить мати вірний технічний облік.

#### **4. Періодична перевірка вимірювальних трансформаторів струму (ТС) та напруги (ТН) персоналом служби релейного захисту.**

Це забезпечує безперебійну роботи ТС та ТН. Проводиться перевірка згідно вимог Правил улаштування електроустановок [5], Кодексу комерційного обліку електричної енергії [6], інструкцій з експлуатації вимірювальних трансформаторів струму та напруги.

#### **5. Налаштування синхронізації часу сервера з усіма лічильниками технічного обліку.**

Коректна синхронізація часу між лічильниками та сервером АСТОЕ є критично важливою. Будь-які розбіжності у часі призводять до спотворення профілів навантаження, появи штучних небалансів та помилок у формуванні звітності.

Рекомендовано проводити синхронізацію автоматично або автоматизовано не рідше одного разу на добу.

Якщо сервер та лічильник несинхронізовані в часі, то це призводить до змішування інтервалів часу, неправильного розрахунку електроспоживання за розрахункові періоди.

Для реалізації синхронізації часу на сервері системи обліку потрібно мати GPS приймач та необхідне програмне забезпечення, наприклад NTP server Meinberg.

В разі неможливості використання GPS приймача налаштувати синхронізацію часу можна за допомогою серверів точного часу в інтернеті які працюють за допомогою протоколу SNTP (simple NTP). Цей протокол забезпечує точність синхронізації часу в межах 1-ї секунди.

Наведені вище заходи сприяють визначенню або усуненню наступних основних дефектів в колах технічного обліку електроенергії:

- відмова лічильника під навантаженням;
- пошкодження кабелю зв'язку між лічильником та ПЗПД (або сервером);
- підвищена похибка лічильника електроенергії внаслідок неправильної роботи його електронної схеми або складових частин електронного лічильника;
- відмова лічильника в роботі в момент подачі напруги на електроприймач (відсутня ініціалізація);
- некоректна робота пристрою збирання-передачі даних при передачі даних з лічильників на сервер технічного обліку (найчастіше це накиди імпульсів внаслідок дії електромагнітних завад, пропуски імпульсів тощо);
- недооблік електронного лічильника електроенергії, який враховує електроспоживання тільки від першої гармоніки струму у випадку роботи його на приєднанні з несинусоїдальним навантаженням;
- неправильно вказаний коефіцієнт обліку в точці обліку;

## ЛІТЕРАТУРА

1. Комп'ютерні інформаційні технології в електроенергетиці (тексти лекцій для студентів 4 і 5 курсів денної і заочної форм навчання спеціальності 7.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання"). Укл. Бородін Д.В. Харків: ХНАМГ, 2007. 100 с.
2. Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії // Додаток 10 до Договору між членами Оптового ринку електричної енергії України. Київ, 2013.
3. Лук'яненко І.Г. Економетрика: Підручник / І.Г. Лук'яненко, Л.І. Краснікова. Київ : Знання, КОО. 1998. 494 с.
4. Загірняк М.В. Електричні машини: підручник / М.В. Загірняк, Б.І. Невзлін. 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ: Знання, 2009. 399 с.
5. Правила улаштування електроустановок. — Міненерговугілля України. Х.: Видавництво "Форт", 2017. 760 с.
6. Кодекс комерційного обліку електричної енергії, затверджений Постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 311 із змінами, внесеними згідно з Постановами Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 716 від 20.03.2020; № 2451 від 01.12.2021; № 1249 від 04.10.2022; № 1495 від 15.08.2023; № 2276 від 05.12.2023; № 2418 від 12.12.2023; № 57 від 10.01.2024; № 1380 від 26.07.2024; № 1799 від 22.10.2024.

- програмні та алгоритмічні розбіжності у обробці даних;
- несвоєчасне чи неповне опитування приладів обліку;
- ослаблення контактів вимірювальних кіл у випробувальних клемних коробках або клемних колодах лічильників та ін., що призводить до збільшення струму та похибки обліку.

## ВИСНОВКИ

**1.** Запропоновано комплекс практичних заходів щодо верифікації даних АСТОЕ, які охоплюють аналіз, звірку, контроль меж потужності та періодичні інструментальні перевірки.

**2.** Показано, що регулярна звірка показників електроенергії між лічильниками технічного обліку та сервером дозволяє виявляти систематичні та випадкові помилки, пов'язані з неправильною роботою вимірювальних трансформаторів, ПЗПД, каналів зв'язку та алгоритмів обробки даних.

**3.** Впровадження зазначених методів підвищує точність технічного обліку, зменшує небаланси та сприяє економії електричної енергії.



## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК СПОЖИВАЧІВ

Я. С. Бедерак, В. І. Тарадай

У видавництві "Форт" м. Харків в грудні 2020 року побачив світ навчальний посібник "Забезпечення надійної роботи електроустановок споживачів". У посібнику розглянуто різноманітні причини несправностей електрообладнання та його виходу з ладу.

Приведені докладні настанови з огляду електроустановок споживачів, детальні переліки дефектів, що їх зазвичай виявляють на етапі огляду. Узагальнено заходи, спрямовані на підтримку справного стану обладнання. Книга призначена для інженерно-технічних працівників у сфері забезпечення електропостачання підприємств, а також електромонтерів, які займаються експлуатацією електроустановок напругою до і понад 1000 В у різних галузях народного господарства.

Звертайтеся до інтернет-магазину видавництва:

<https://www.fort.kharkiv.com/>



# ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ НАН УКРАЇНИ

Інститут електродинаміки НАН України вітає Вас та пропонує унікальну послугу — **вимірювання метрологічних характеристик та оцінка працездатності засобів вимірювальної техніки (приладів)** за допомогою попереднього експертного аналізу наявних засобів обліку (реєстрації) та засобів контролю параметрів якості електроенергії підприємства на відповідність заявленим виробником параметрам, вимогам міжнародних договорів, державним і міжнародним стандартам, та нормам.

Таке рішення значно дешевше, ніж перевірка застарілих засобів з невідомим результатом щодо придатності до подальшої експлуатації та, ймовірно, подальшої закупівлі нових засобів.

Це можливість заздалегідь визначитися перед перевіркою засобів обліку (реєстрації) та засобів контролю параметрів якості електроенергії в уповноваженій повірочній лабораторії ІЕД НАН України.

## **ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИДАЄТЬСЯ ПРОТОКОЛ ВИМІРЮВАНЬ ЗА ПІДПИСОМ НАЧАЛЬНИКА ЛАБОРАТОРІЇ ІЕД НАН УКРАЇНИ.**

- 1. Аналізатор мережі в частині вимірювання показників якості електричної енергії (2 600 + 2 900-*n* грн)**
- 2. Калібратор показників якості електричної енергії (1 400 + 6 400-*n* грн)**
- 3. Лічильник електричної енергії 3-фазний (1 100 + 3 200-*n* грн)**

**Мінімальна партія приладів для перевірки від 5 шт. 3-фазних.**

Ціну наведено у гривнях без ПДВ, де *n* — кількість параметрів.

**В лабораторії ІЕД НАН України використовуються промислове високоточне обладнання:**

- 1. Трифазний еталон-калібратор електричної потужності FLUKE 6130A, у складі якого один блок 6100A та два блоки 6101A.**
- 2. Частотомір FLUKE PM 6690/062.**
- 3. Високоточний набір для випробування реле та універсальний калібратор OMICRON CMC 256plus.**

Діапазон випробувальних сигналів з еталонів дозволяє подавати на вхід засобів обліку та засобів контролю параметрів якості електроенергії сигналами

відповідного значення з необхідною точністю та отримувати достовірне значення метрологічної характеристики.

Наприклад, **еталон-калібратор Fluke 6100A** — це прецизійний (високоточний) прилад, що використовується для калібрування вимірювальних пристроїв, які застосовуються для визначення параметрів якості електроенергії.

Прилад дає змогу відтворювати джерела електроенергії з нестандартними характеристиками, в яких мають місце такі явища як:

- гармоніки напруги,
- інтергармоніки,
- флуктуючі гармоніки,
- флікер,
- падіння та підвищення напруги.

Для визначення метрологічної характеристики відхилень частоти використовується як джерело стабільної по частоті напруги калібратор **FLUKE 6100A**.

Для вимірювання частоти, з точністю в межах  $\pm 0,02$  Гц, як еталонний прилад застосовується частотомір **FLUKE PM 6690/062**.

## **ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕТАЛОНА-КАЛІБРАТОРА FLUKE 6100A (довідково)**

### **1. Технічні дані:**

- Роздільна здатність налаштування амплітуди напруги/струму 6 розрядів.
- Діапазон частот основної гармоніки від 16 Гц до 450 Гц.
- Захоплення частоти (Line frequency locking) від 45 Гц до 66 Гц за вибором користувача.
- Точність відтворення частоти 50 ppm.
- Роздільна здатність налаштування частоти 0,1 Гц, налаштування фазового кута 0,001°.
- Максимальна кількість гармонік напруги або струму — 100.

### **2. Номінальні значення діапазонів напруг та струмів:**

- повний діапазон 16/33/78/168/336/1008 В;
- повний діапазон 0,25/0,5/1,0/2,0/5,0/10,0/20,0 А.

**За додатковою інформацією звертатися до**

**Інституту електродинаміки НАН України — <https://ied.org.ua>**

**СЛИНЬКО Володимир Мефодійович, [sl.vladimir2015@gmail.com](mailto:sl.vladimir2015@gmail.com), [svm@ied.org.ua](mailto:svm@ied.org.ua)**

**м. Київ, 03057, Проспект Берестейський, 56,**

**Тел.: +38 044 366 25 63, +38 050 380 51 71, +38 066 350 83 89**

# ПОСЛУГИ З ВИСОКОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

## ВИСОКОТОЧНИЙ НАБІР ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ РЕЛЕ ТА УНІВЕРСАЛЬНИЙ КАЛІБРАТОР CMC 256PLUS (довідково)

**OMICRON CMC 256plus** — це відмінне рішення для застосувань, що вимагають надвисокої точності.

Пристрій є не лише випробувальним набором для пристроїв РЗА усіх типів, але й універсальним сучасним інструментом калібрування різноманітного вимірювального обладнання.

Його висока точність дозволяє проводити тестування та калібрування широкого спектра вимірювальних приладів, включаючи: прилади для вимірювання якості електроенергії (PQ) класу А та S, лічильники енергії класу 0.2 та нижче, вимірювальні перетворювачі та блоки вимірювання векторів (PMU).

Така унікальна точність та гнучкість роблять CMC 256plus ідеальним для виробників РЗА та вимірювального обладнання для досліджень та розробок, виробництва та типових випробувань.

Шість каналів струмового виходу та чотири канали напруги CMC 256plus мають плавне та незалежне регулювання амплітуди, фази та частоти. Усі виходи захищені.

Інтегрований мережевий інтерфейс підтримує комплексне тестування в середовищах IEC 61850 за допомогою додаткового моделювання та підписки GOOSE, а також функції моделювання SV. Також можливо отримувати, оцінювати та реєструвати зв'язок клієнт/сервер IED SCADA відповідно до IEC 61850.

На випробувальному комплекті доступно до 12 незалежних каналів низькорівневих сигналів, які можна використовувати для тестування реле з нетрадиційними входами датчиків (наприклад, котушки

Роговського) або для керування зовнішніми підсилювачами.

**CMC 256plus розроблено** для роботи з найпопулярнішими програмними інструментами OMICRON. Користувачі можуть керувати випробувальним набором за допомогою ПК/ноутбука або планшета та підключатися через кабель Ethernet/USB або Wi-Fi (через додатковий міні-адаптер бездротового USB).

Синхронізація часу відповідно до IEEE 1588 можлива, наприклад, через CMGPS 588. GPS-керований годинник часу з вбудованою антеною працює як головний годинник протоколу точного часу (PTP) та оптимізований для використання на відкритому повітрі.

Структурна схема тестової установки з використанням обладнання фірми OMICRON

### Основні особливості:

- установку для перевірки РЗА та універсальний калібратор спроектовано в одному пристрої;
- проводиться тестування всіх поколінь реле: електромеханічних, електронних, цифрових, IEC 61850;
- застосовуються високоточні тестові сигнали. Для тестування лічильників: джерела є еталонними – додаткових еталонних лічильників не потрібно;
- інтегрована мережа для тестування IED IEC 61850;
- 10-канальні аналогові вимірювання та функція запису перехідних процесів.

Наведене обладнання — це лише невелика частина можливостей Інституту електродинаміки НАН України в напрямку вирішення інженерних та науково-технічних завдань відповідно до сучасних нормативних вимог.





## BESS АБО АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ: ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ ДЛЯ МАЙБУТЬОГО

**А**кумуляторні накопичувачі енергії (**Battery energy storage system — BESS**) поступово стають ключовим елементом сучасних енергетичних систем. В рамках переходу до більш стійкої та відновлюваної енергетики BESS відіграє важливу роль у балансуванні попиту та пропозиції, підвищенні стабільності енергосистеми та зменшенні залежності від викопних видів палива.

### ЯК ПРАЦЮЄ BESS (BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM) АКУМУЛЯТОРНА СИСТЕМА ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ?

Системи BESS зберігають електричну енергію в акумуляторних батареях. Потім ця енергія може бути використана для забезпечення електроенергією, за потреби. Ці батареї бувають різних типів, зокрема:



- **Літій-іонні акумулятори:** найпоширеніший тип, який використовується у всьому, від смартфонів до електромобілів.
- **Свинцево-кислотні акумулятори:** традиційний вибір для автомобільних застосувань
- **Проточні акумулятори:** зберігають енергію в електроліті, пропонуючи довший термін служби і більшу масштабованість.
- **Натрій-іонні акумулятори:** перспективна альтернатива літій-іонним акумуляторам з потенційними перевагами в ціні.

## ПЕРЕВАГИ АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ

Акумуляторні накопичувачі енергії (BESS) мають численні переваги в різних аспектах управління енергією. Однією з ключових переваг є підвищення стабільності енергосистеми. Зберігаючи надлишкову енергію в періоди низького попиту і вивільняючи її під час пікових навантажень, BESS допомагає збалансувати мережу і запобігти відключенням електроенергії.

Ще однією значною перевагою є більша інтеграція відновлюваної енергетики. Відновлювані джерела, такі як сонячна та вітрова енергія, є непостійними за своєю природою, тому акумуляторні системи зберігання енергії відіграють вирішальну роль у забезпеченні надійного та стабільного енергопостачання. Зберігання надлишкової енергії дозволить нам використовувати її, у разі якщо виробництво енергії зменшиться.

BES також робить свій внесок у більш стале майбутнє, зменшуючи викиди вуглецю. Заохочуючи розвиток екологічно чистої енергетики, а отже, зменшуючи залежність від викопних видів палива, сектор може знизити загальні викиди парникових газів.

Нарешті, BESS підвищує енергетичну безпеку, зменшуючи залежність від іноземних джерел енергії. Це також має додаткову перевагу — підвищення стійкості до перебоїв у постачанні. Зміцнюючи енергетичну незалежність країни, BESS є важливим компонентом створення більш стабільної та самодостатньої енергетичної системи.

## ЗАСТОСУВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ

BESS використовується в широкому діапазоні застосувань, включаючи:

### ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ В ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ

Домовласники все частіше використовують системи зберігання енергії від акумуляторних батарей (BESS) для зберігання надлишкової сонячної енергії, що генерується протягом дня. Ця накопичена енергія може бути використана пізніше, допомагаючи зменшити залежність від національної електромережі, а також знизити рахунки за електроенергію. Сприяючи власному споживанню відновлюваної енергії, BESS підвищує енергетичну незалежність і може забезпечити резервне живлення під час відключень.

### КОМЕРЦІЙНЕ ТА ПРОМИСЛОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ

Подібно до житлових будинків, підприємства також використовують BESS для оптимізації енергоспоживання, зменшення операційних витрат та підвищення загальної енергоефективності. Компанії можуть накопичувати електроенергію в непікові години, коли попит на неї низький, і таким чином знижувати витрати. Пізніше вони можуть викорис-



товувати цю накопичену енергію в періоди пікового попиту, коли ціни на електроенергію вищі. Ця стратегія допомагає бізнесу зменшити витрати на електроенергію, водночас наголошуючи на більш сталому та ефективному використанні енергії.

### МАСШТАБНЕ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ

У великих масштабах BESS відіграє вирішальну роль у підтримці стабільності енергосистеми. Масштабні системи зберігання енергії надають такі важливі послуги, як регулювання частоти, зменшення пікових навантажень та балансування навантаження. Забезпечуючи стабільне постачання електроенергії навіть під час коливань попиту, BESS допомагає запобігти відключенням електроенергії та підвищує загальну стійкість мережі.

### ЗАРЯДКА ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Популярність електромобілів (EV) буде тільки продовжувати зростати. Через це BESS все більше інтегрується в інфраструктуру зарядних станцій. За допомогою акумуляторної системи зберігання енергії можливо налаштувати управління піковим попитом і зберігання енергії для ефективного розподілу, BESS ідеально підходить, оскільки допомагає зменшити навантаження на мережу, забезпечуючи при цьому надійні та економічно ефективні рішення для зарядки електромобілів. Ця система підтри-

мує перехід до екологічно чистого транспорту та покращує доступність мереж зарядних станцій для електромобілів.

### ПОТЕНЦІЙНІ ПРОБЛЕМИ З BESS

**Міркування щодо вартості.** Однією з головних проблем акумуляторних систем зберігання енергії (BESS) є висока початкова вартість установки. Хоча BESS пропонують довгострокову економію та переваги ефективності, початкові інвестиції можуть бути значною перешкодою для домовласників та бізнесу. Однак, оскільки технології продовжують розвиватися, а економія від масштабу покращується, очікується, що ціни на акумулятори знижуватимуться. Сподіваємось, це зробить BESS більш доступним та економічно вигідним варіантом у найближчому майбутньому.

### ТЕРМІН СЛУЖБИ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ

Термін служби батарей залежить від типу та особливостей використання. З часом їх ефективність може знижуватися. Заміна батарей може бути дорогавартісною, особливо для великомасштабних систем зберігання. Щоб вирішити цю проблему, сучасні дослідження зосереджені на підвищенні довговічності батарей, розробці новітніх матеріалів і вдосконаленні процесів переробки, щоб продовжи-



**RITTAL презентує  
шафи VX ESS**

**НОВІ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ**

ти термін служби BESS і зменшити довгострокові витрати.

## ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ

Хоча BESS робить свій внесок у майбутнє екологічно чистої енергетики, існують екологічні та етичні проблеми, пов'язані з деякими матеріалами, з яких виготовляються батареї. Такі елементи, як кобальт, що зазвичай використовуються в літій-іонних батареях, викликають питання, пов'язані з видобутком ресурсів, погіршенням стану довкілля та трудовою етикою. Галузь активно вивчає більш стійкі альтернативи, включаючи безкобальтові хімічні речовини для акумуляторів, вдосконалені методи переробки та розробку рішень для зберігання енергії наступного покоління зі зменшеним впливом на навколишнє середовище.

## ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ

Загалом, майбутнє BESS виглядає багатообіцяючим. Завдяки інноваціям у сфері ефективності та зниження витрат стає зрозуміло, чому деякі люди обирають цей альтернативний варіант зберігання енергії. Посилення інтеграції BESS з відновлюваними джерелами енергії, інтелектуальними мережами та інфраструктурою електромобілів сприятиме більшій енергетичній стійкості, а також прискорить перехід до більш сталого енергетичного ландшафту.

## ІННОВАЦІЙНІ КОНЦЕПЦІЇ ВІД RITTAL

Як партнер з великим досвідом роботи в галузі енергетики, **Rittal** може запропонувати вам правильні рішення для зберігання енергії. Нова шафа VX SEE для зберігання енергії на основі нашої перевіреної системи шаф VX, спеціально розроблена для розміщення модулів зберігання енергії.

Переваги, які ви отримуєте, обираючи нашу нову шафу для зберігання енергії:

- значна економія часу завдяки повністю попередньо зібраним, знімним контейнерам для акумуляторних батарей, які вміщують всю інфраструктуру для зберігання;
- безвідмовна, довготривала експлуатація завдяки високим захисним властивостям від вітру, погоди та інших зовнішніх факторів;
- глобальні можливості застосування завдяки відповідності міжнародним стандартам та сервісу по всьому світу.

Перейдіть за посиланням та ознайомтеся новими шафами VX ESS, а також комплектуючими до них.

Дізнатись більше про продукти Rittal Ви можете на нашому сайті або звернувшись до нас в офіс.

### “РІТТАЛ” ТОВ

08132, м. Вишневе, Київська обл., вул. Київська, 6В  
тел. (044) 536 99 44, e-mail: office@rittal.com.ua  
www.rittal.com/ua-en/

## IX Міжнародна спеціалізована виставка технологій, обладнання та матеріалів для аддитивного виробництва та 3D друку



# Addit EXPO 3D



Актуально  
для 3D стоматології

## 26-28 травня 2026



Місце проведення:  
МВЦ, м. Київ,  
Броварський пр-т, 15,  
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-87



helen@iec-expo.com.ua

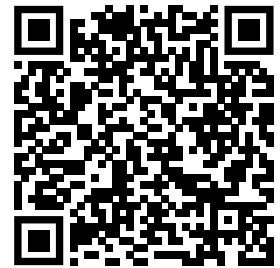


www.iec-expo.com.ua



# SCHNEIDER ELECTRIC ТРАНСФОРМУЄ РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З MASTERPAC MTZ ACTIVE, ВИКОРИСТОВУЮЧИ ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ВУГЛЕЦЮ

- Schneider Electric продовжує 35-річну традицію інновацій та ефективності MasterPac T у сфері автоматичних вимикачів.
- Моніторинг і вимірювання енергоспоживання в реальному часі допомагають приймати обґрунтовані рішення для зниження споживання енергії та прискорення досягнення цілей сталого розвитку.
- Вперше в галузі після спрацювання вимикача використовується QR-код для швидкого доступу до рекомендацій щодо подальших дій.



**Schneider Electric**, лідер цифрової трансформації енергоменеджменту та автоматизації, представляє революційно новий автоматичний вимикач **MasterPac T MTZ Active**, який визначає нові стандарти безпеки, ефективності та сталого розвитку, забезпечуючи безперервність бізнесу. У світі, де електрифікація та цифровізація набирають обертів, MasterPac T MTZ Active дозволяє клієнтам ефективно реагувати на складні щоденні виклики, включаючи вимоги до безперервної роботи, зростання витрат на енергію та нагальні заклики до сталих практик.

“Більш електрифікований і цифровий світ — ключ до вирішення енергетичної та кліматичної кризи, —

зазначив **Рохан Келкар**, виконавчий віцепрезидент підрозділу Global Products компанії Schneider Electric. — *Разом із нашими клієнтами ми використовуємо розумну енергію для зниження споживання та скорочення викидів вуглецю. MasterPac T MTZ Active — наша новітня пропозиція для прискорення енергоефективності та декарбонізації, оптимізуючи життєвий цикл обладнання без компромісів щодо функціональності чи безпеки”.*

У різних галузях — від охорони здоров'я, будівництва та енергетики до хімічної промисловості та виробників обладнання — електроенергія стає дедалі більш розподіленою та складною для управ-





ліній. Водночас компанії очікують безперебійного електропостачання 24/7, і це цілком виправдано. Експерти Gartner оцінюють вартість простою дата-центру у **5 600 доларів за хвилину** або понад **300 000 доларів за годину**. Пріоритетом є також забезпечення безпеки монтажників, операторів і обслуговуючого персоналу.

### MASTERPACT MTZ ACTIVE: ГОТОВИЙ ДО ДІЙ

Протягом 35 років ім'я MasterPacT асоціюється з інноваціями та надійністю у сфері автоматичних вимикачів, і мільйони пристроїв працюють по всьому світу. Тепер, коли розумний, підключений розподіл електроенергії стає необхідністю, Schneider Electric знову розширює лінійку, підвищуючи ефективність вимикачів. **MasterPacT MTZ Active** оснащений електронним блоком керування, який є "мозком" пристрою, дозволяючи менеджерам об'єктів контролювати та вимірювати споживання електроенергії в реальному часі.

*"Як і багато інших рішень Schneider Electric для розподілу електроенергії, MasterPacT MTZ Active робить невидиме видимим, дозволяючи операторам бачити та відстежувати споживання енергії в реальному часі, — зазначає Йонут Фаркаш, старший віцепрезидент Europe Hub, Power Products Division, Schneider Electric. — Маючи таку інформацію під рукою, компанії можуть приймати кращі рішення щодо енергоменеджменту, знижувати споживання, усувати втрати та скорочувати свій вуглецевий слід".*



Після спрацювання вимикача через перевантаження, коротке замикання чи замикання на землю, блок керування MasterPacT MTZ Active пришвидшує реагування завдяки унікальному QR-коду. Оператори сканують код, щоб швидко отримати рекомендації щодо дій залежно від причини спрацювання. *"Не потрібно витрачати час на пошук у 200-сторінковому документі, — додає Фаркаш. — У разі перевантаження ви швидко отримуєте інструкцію щодо рівномірного розподілу навантаження між лініями".*

### ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

MasterPacT MTZ Active встановлює нові стандарти безпеки та сталого розвитку. Вбудована функція **Energy Reduction Maintenance Setting (ERMS)** захищає обслуговуючий персонал від дугових розрядів, а інтуїтивний дизайн блоку керування спрощує налаштування всіх захисних функцій, включаючи струм, часові затримки та сигнали тривоги.



Розроблений із урахуванням принципів циркулярної економіки, MasterPacT MTZ Active може бути відновлений Schneider Electric для другого життєвого циклу з оригінальною гарантією, що зменшує кількість відходів і сприяє сталому розвитку. Крім того, термін служби встановлених вимикачів MasterPacT NT/NW можна продовжити, просто оновивши їх блок захисту до електронного блоку MTZ Active. Це дозволяє уникнути заміни всього вимикача, знижує витрати та мінімізує відходи.

У міру того, як електрифікація та цифровізація змінюють баланс попиту та пропозиції електроенергії у світі, Schneider Electric продовжує розвивати лінійку MasterPacT, спираючись на відгуки клієнтів, щоб забезпечити надійну та ефективну роботу автоматичних вимикачів.

Life Is On

Schneider  
Electric



# Energy Storage від Schneider Electric™ Установка Зберігання Енергії (УЗЕ)

Система «все-в-одному»

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Energy Storage від Schneider Electric це повністю автономне рішення для зберігання енергії, побудоване на гнучкій, масштабованій та високоефективній архітектурі, яка забезпечує адаптивність, допомагає мінімізувати витрати на енергію. Як складова мікромережевої системи, установка зберігання енергії (УЗЕ) використовує локальні джерела генерації для оптимізації всієї системи, забезпечуючи економію енергії та витрат при максимальному використанні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), також використовується як система резервного зберігання енергії.

## ЗАСТОСУВАННЯ

- Комерційні та промислові об'єкти
- Малі і середні будівлі
- Мікромережеві системи
- Власне споживання відновлюваної енергії

## ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ

### Гнучкість для отримання економії

- **Зниження витрат за споживання:** Акумуляторна батарея може допомогти зменшити витрати за споживання електроенергії, змістивши споживання енергії з пікових годин на непікові. Це відбувається шляхом заряджання акумуляторів у непікові години, коли ціни на електроенергію нижчі, а потім розряджання їх у години пік, коли ціни на електро-

енергію вищі. Зменшення плати за пікове споживання може заощадити 10–20% ваших витрат на електроенергію.

### Забезпечення сталості

- **Альтернативна генерація:** Використання альтернативних джерел енергії — це процес забезпечення надійного та стабільного постачання електроенергії в мережу з підключенням альтернативних джерел такими, як сонячна та вітрова енергія. УЗЕ вирівнює потужність від сонячної або вітрової енергії, забезпечуючи стабільну генерацію потужності в мережу в періоди низької генерації від місцевих відновлюваних джерел.
- **Сталість/резервне живлення:** У разі відключення мережі, УЗЕ забезпечує резервне живлення, також в поєднанні з місцевими відновлюваними джерелами енергії.

### Задовольнити потреби в електроенергії

- Зростання електрифікації, розширення мереж зарядних станцій для електромобілів, а також управління міським транспортом вимагають більшої кількості генеруючих станцій з дедалі вищими рівнями потужності. Ці вимоги до потужності часто перевищують можливості існуючих генеруючих станцій. Стратегічно розгорнута УЗЕ може забезпечити додаткову необхідну потужність, водночас зменшуючи плату за користування електромобілями.

**Додаткові можливості отримання доходу**

- **Участь у допоміжних ринках:** Залежно від місця розташування, можуть бути варіанти участі в регулюванні частоти та оптовому продажі електроенергії.
- **Реагування на потреби:** Там, де це можливо, УЗЕ дозволяє брати участь у місцевих програмах реагування на попит з боку енергопостачальної

компанії для зменшення пікового навантаження на мережу.

**Підтримка режиму «острів»**

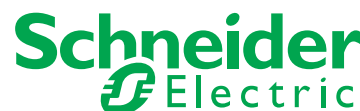
- **Мікромережа:** Будучи невід'ємною частиною вашої мікромережі, УЗЕ може стати вашим основним ресурсом при виході на режим генерації «острів», забезпечуючи повне використання ваших відновлюваних активів і стабілізацію мікромережі.

**СТАНДАРТНІ КОНФІГУРАЦІЇ УЗЕ**

**Schneider Electric** пропонує стандартизовані конфігурації від 250 кВт до 2 МВт для 2–4-годинних систем. Система УЗЕ **“все-в-одному”**, яка вже готова до підключення, укомплектована інверторами, батареями, ситемою охолодження, розподілом електроенергії, вихідним трансформатором і системами безпеки.

| Конфігурація<br>Зображення продукту<br>лише для ілюстрації | 20фут. УЗЕ  | 20фут. УЗЕ  |
|--|---|---|
| Загалом  | Універсальний корпус УЗЕ - готовий до підключення. Пристрої STS та DCDC можуть бути встановлені як всередині так і ззовні.  |   |
| Можлива конфігурація                                       | Потужність 250 - 2000 кВт з трансформатором 0,4-10кВ<br>STS 0,4кВ<br>DCDC до 400кВт   | 1500-10000 кВт з трансформатором до 35кВ<br>РУ-**кВ<br>DCDC до 750кВт |
| Охолодження батарей  | Повітряне   | Рідинне   |
| Розміри зовнішні<br>(Д * Г * В мм)                         | 20 фут. high Cube<br>6058 x 2438 x 2896 (mm)  | 20 фут. high Cube<br>6058 x 2438 x 2896 (mm)                          |
| Вага   | 2000 кВтгод 25 тон в залежності від конфігурації  | 5000 кВтгод 40 тон в залежності від конфігурації                      |
| Батареї  | <b>Літій-залізо-фосфатні батареї (LFP)</b> , термін експлуатації понад 15 років, кількість циклів 7000+ при DoD=95%   |   |
| Напруга приєднання   | 400 В змінного струму (+/- 10%), 3 фазний система TNC<br><b>Примітка:</b> має вбудований ізолюючий трансформатор.<br>4-х квадрантний інвертор може працювати як в «мережевому», так і в «острівному» режимах. |   |
| Здатність до перевантаження                                | 105 – 115% 10хв,<br>115 – 125% 1хв,<br>125 – 150% 200мсек   | 105 – 115% 10хв,<br>115 – 125% 1хв,<br>125 – 150% 200мсек             |
| Небаланс струмів   | Небаланс струму: 100%   |   |
| Зв'язок  | Протокол: Modbus TCP<br>Ethernet port: RJ45 Port (< 100м відстань)<br>Data logging  |   |
| Робоча температура   | -20°C до +50°C  |   |
| Сертифікати  | <b>УЗЕ:</b> UL9540<br><b>Інвертор:</b> UL1741 включно додатки SA/SB/CRD, CSA 22.2, IEC 62109-1, EMC: EN61800-3, Гармоніки: IEEE 1547, IEEE 519<br><b>Battery:</b> UL9540A tested, UL1973, UN38.3              |   |
| Гарантія/Сервіс  | <b>Гарантія:</b> Стандартна на обладнання 3 роки<br><b>Сервіси:</b> Стартап, пусконаладжувальні роботи, профілактичне обслуговування, розширена гарантія, комплекти запасних частин та дистанційна підтримка  |   |

Life Is On



# ТРАНСФОРМАТОРНА СТАНЦІЯ SPS ВІДПОВІДЬ НА ПОТРЕБИ СЬОГОДЕННЯ НАШИХ КЛІЄНТІВ



Ми розпочали четверте десятиліття ZPUE S.A. Ми не уповільнюємо темпи пошуку нових рішень. Оцінюючи наші досягнення, ми досі ставимо високі планки та підходимо до викликів сучасної енергетики. У той же час ми використовуємо кращі традиції нашої компанії, відкриваючи себе потребам клієнтів і всього сектора. Ви знайдете наше обладнання не тільки в багатьох місцях Польщі, але й у всьому світі — від Андських схилів в Чилі до Далекосхідної Азії. Де б ви не були, ми близькі. Ближче, ніж ви думаєте.

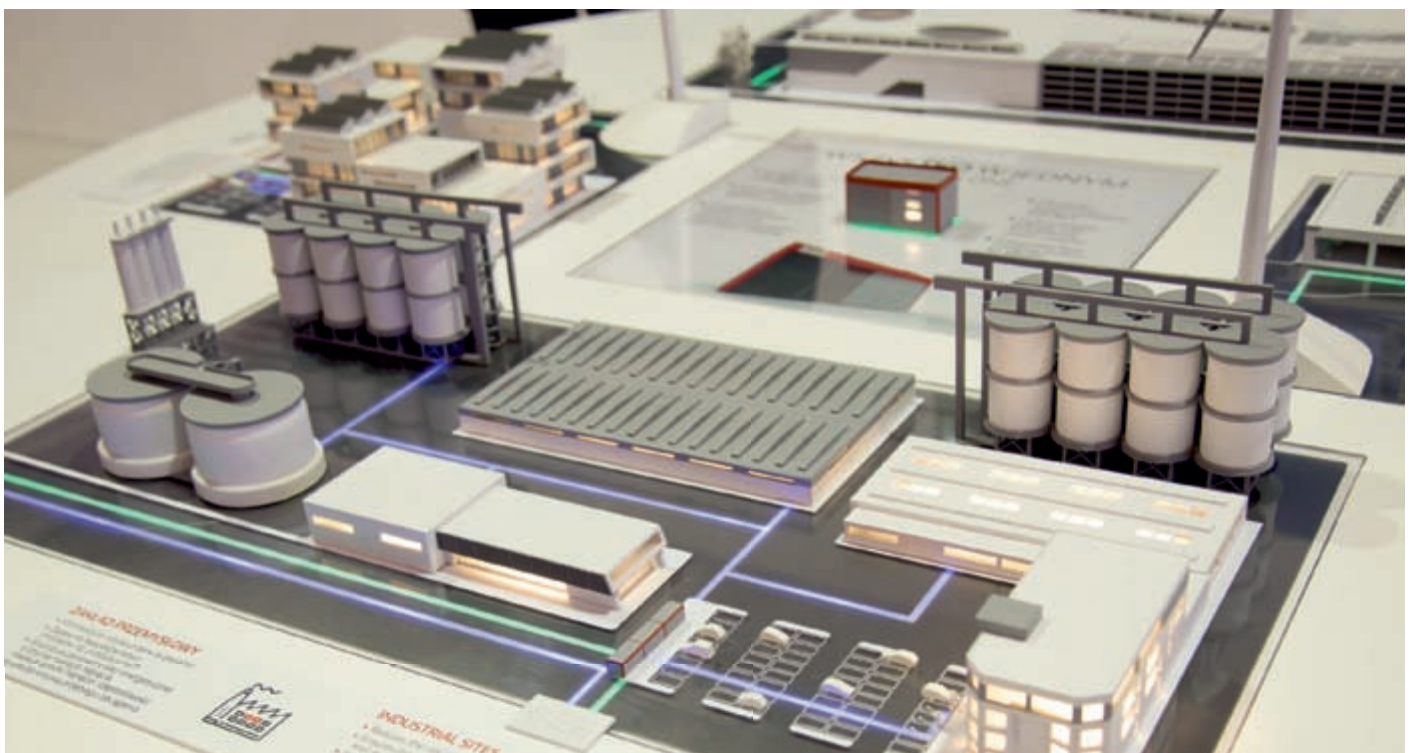
Серед останніх новин, вироблених ZPUE S.A. є інтелектуальна станція трансформаторна SPS (Smart Power Station) з підземним сховищем енергії. Його прем'єра на Міжнародній виставці енергетики "Бельсько-Бяла" ENERGETAB 2018 була сприйнята з великим інтересом як з боку ринку, так і з боку ЗМІ, ставши найбільш медійною новинкою вересневої виставки. З того часу нашої SPS вдалося отримати багато цінних прізів.

## ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ТРАНСФОРМАТОРНУ СТАНЦІЮ SPS (SMART POWER STATIONS)

Останні роки принесли нові виклики в енергетиці. Динамічно зростаючий ринок електричних автомобілів, безперервний розвиток неконтрольованих відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), все більш поширена проблема з якістю енергії, забезпечення безперервності електропостачання — це тільки деякі виклики сьогоdnішнього енергетичного сектора. Без відповідних інструментів існує значний ризик того, що ці виклики стануть серйозною проблемою, яка значно скоротить наш розвиток без належного її вирішення. З іншого боку, законодавці ЄС вводять нові зобов'язання у сфері кліматичної політики, що полягає у збільшенні частки відновлюваної енергії в загальному енергоспоживанні, а також у зменшенні викидів парникових газів.

Одним з шляхів вирішення проблем сьогоdnішньої енергетики є SPS — перша в Польщі такого типу комбінація розумної трансформаторної станції з накопичувачем енергії, підключенням до відновлюваних джерел енергії та зарядних пристроїв для електричних транспортних засобів.

SPS — це розумна трансформаторна станція з накопиченням енергії, підключенням до відновлюваних джерел енергії, а також зарядним пристроєм для електричних транспортних засобів. Рішення, що об'єднує функції дистанційно керованої розподільної трансформаторної станції, що працює в системі Smart Grid з двонаправленим інвертором (зарядження / віддача енергії), який працює з накопичувачем енергії, забезпечуючи при цьому можливість зарядки електричних транспортних засобів, як особистих, так і наприклад автобусних. Система доповнюється можливістю живлення накопичувача



енергії або споживачів безпосередньо з відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні або вітрові електростанції.

Окремі компоненти можуть створювати незалежні установки або керуватися SPS-Control для роботи в якості однієї вдосконаленої системи, що ефективно впливає на підвищення надійності електропостачання об'єктів електроенергетики, оптимізуючи попит на електроенергію та пов'язані з цим фінансові витрати.

Накопичувачі електроенергії — це пристрої, що забезпечують контрольований збір та передачу енергії в енергосистему. Залежно від технології накопичувача можна виділити декілька типів технологій. Найбільш розвинутою є резервуар для зберігання, який акумулює енергію в електрохімічних батареях. У цій системі, крім батарей, має бути пристрій, що дозволяє здійснювати двосторонній, повністю контрольований потік енергії. Прикладом такого типу пристрою є двонаправлений перетворювач AC/DC.

## ДИЗАЙН

SPS є повністю масштабованою станцією. Це означає, що ми реагуємо на кожен запит наших клієнтів, намагаючись створити об'єкт, який повністю оптимізований і адаптований до конкретних потреб користувача. Спільною особливістю станції SPS є двосекційне будівництво наземної частини та підземної частини.

У надземній частині над рівнем землі встановлені всі типові компоненти трансформаторної станції, такі як:

- трансформатор СН/НН;
- розподільне обладнання СН;
- розподільчі пристрої НН;
- двонаправлений інвертор для обслуговування накопичувача енергії;
- шафа управління SPS-Control;

- необов'язкові комплектуючі: швидкісне зарядне обладнання для автотранспортних засобів, інвертор для відновлюваних джерел енергії;
- підземна частина в основному призначена для зберігання енергії. Розташування батарей в підземній частині забезпечує оптимальну робочу температуру осередків без необхідності розгалуженої системи HVAC. Додаткова перевага підземної частини — пожежна безпека. Розташування корпусу з батареями нижче рівня землі створює природні перешкоди для пожежі, що значно покращує вогнестійкість всієї станції. Це рішення також дозволяє в два рази зменшити площу забудови в порівнянні з традиційним надземним рішенням.

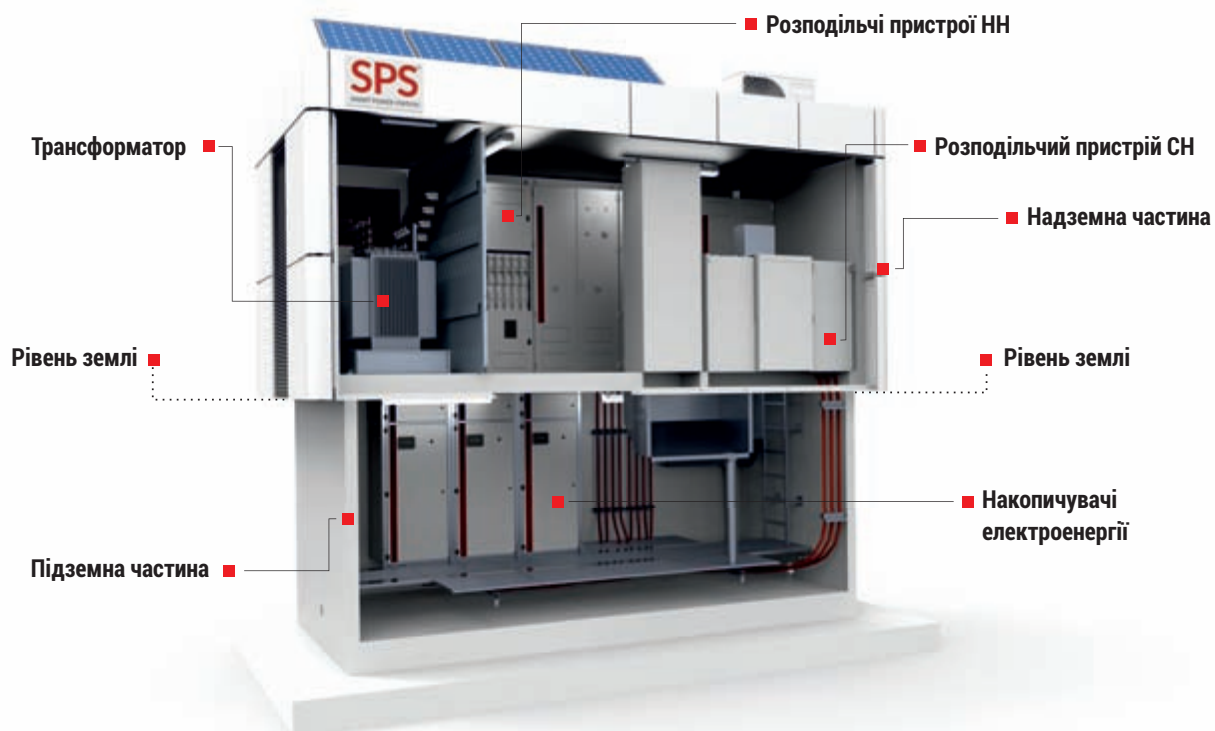
## ФУНКЦІЇ ТА ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ

### Безпека та найвища якість:

- стабілізація параметрів електромережі та підвищення надійності електропостачання;
- ргладжування щоденної кривої навантаження;
- гомпенсація реактивної потужності;
- есунення нерівномірності навантаження, падіння напруги і частоти;
- гідвищення безпеки постачання громадських об'єктів, лікарень та безперервність технологічних процесів на промислових підприємствах;
- система зберігання енергії на основі літій-іонної технології, яка гарантує термін служби до 5000 повних циклів, що дорівнює до 20 років терміну служби.

### Інтелект:

- адаптована до дистанційного моніторингу та управління в системі Smart Grid, сумісність з диспетчерськими системами SCADA;
- зарядка електричних транспортних засобів постійним або змінним струмом, вбудований зарядний пристрій високої потужності.



**Гнучкість:**

- модульне та масштабоване рішення на основі компонентів власного виробництва;
- гнучка конфігурація, що дозволяє оптимально підібрати функціональні можливості з урахуванням індивідуальних потреб клієнтів;
- сучасний дизайн, що дозволяє адаптувати станцію до архітектурних умов за місцем її встановлення.

**Економіка:**

- зберігання енергії з розподільчої електромережі (наприклад, більш дешевий нічний тариф) або ВДЕ з можливістю використання її за межами періоду генерації;
- оптимізація попиту на електроенергію з енергосистеми;
- Мінімізація будівельних поверхонь шляхом інтеграції розподільчих пристроїв.

**СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

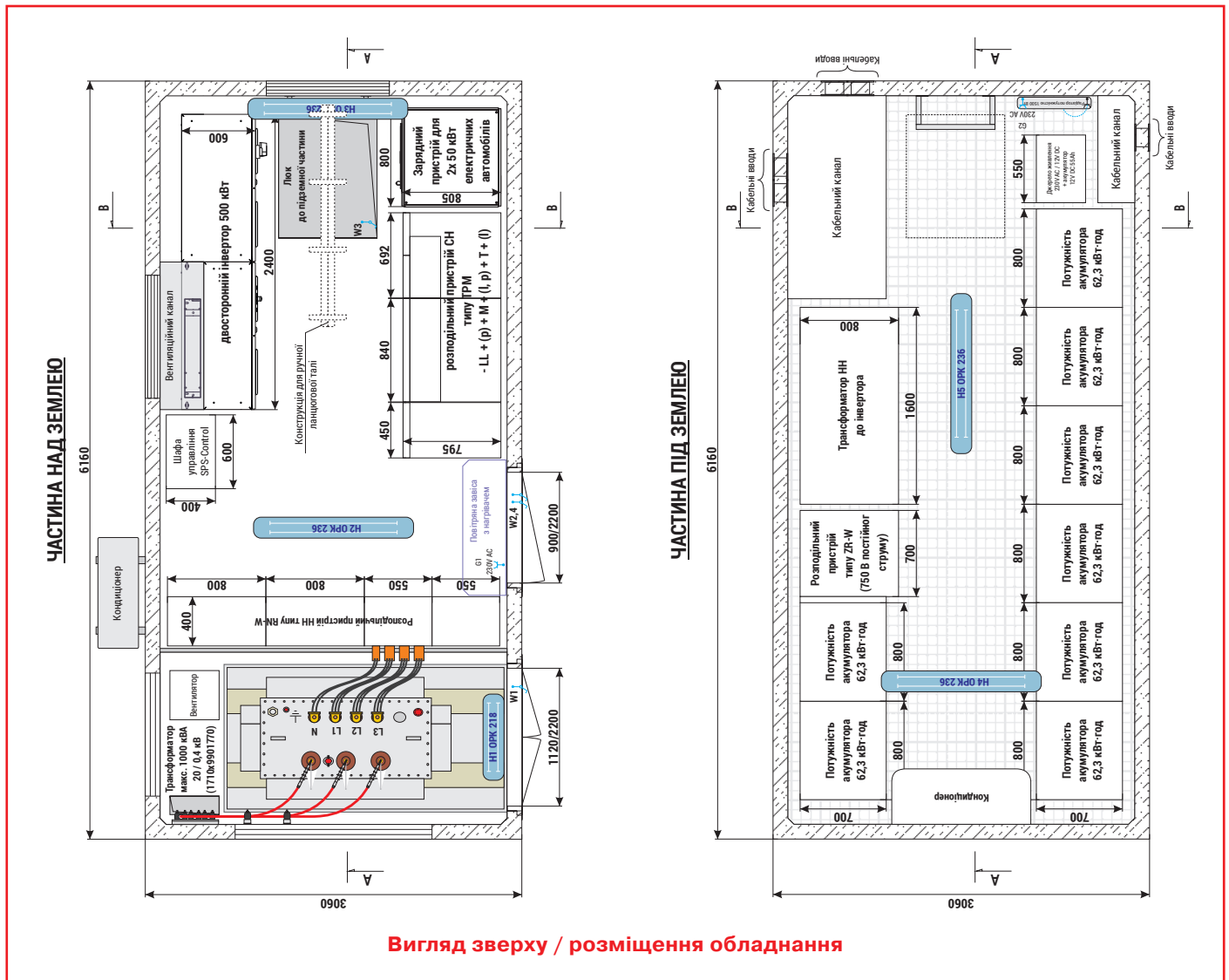
- Місцева електромережа для електричних транспортних засобів.
- Оператори систем електроенергії.
- Громадські приміщення (офіси, лікарні, офісні будівлі, готелі,
- Супермаркети або спортивні споруди тощо).

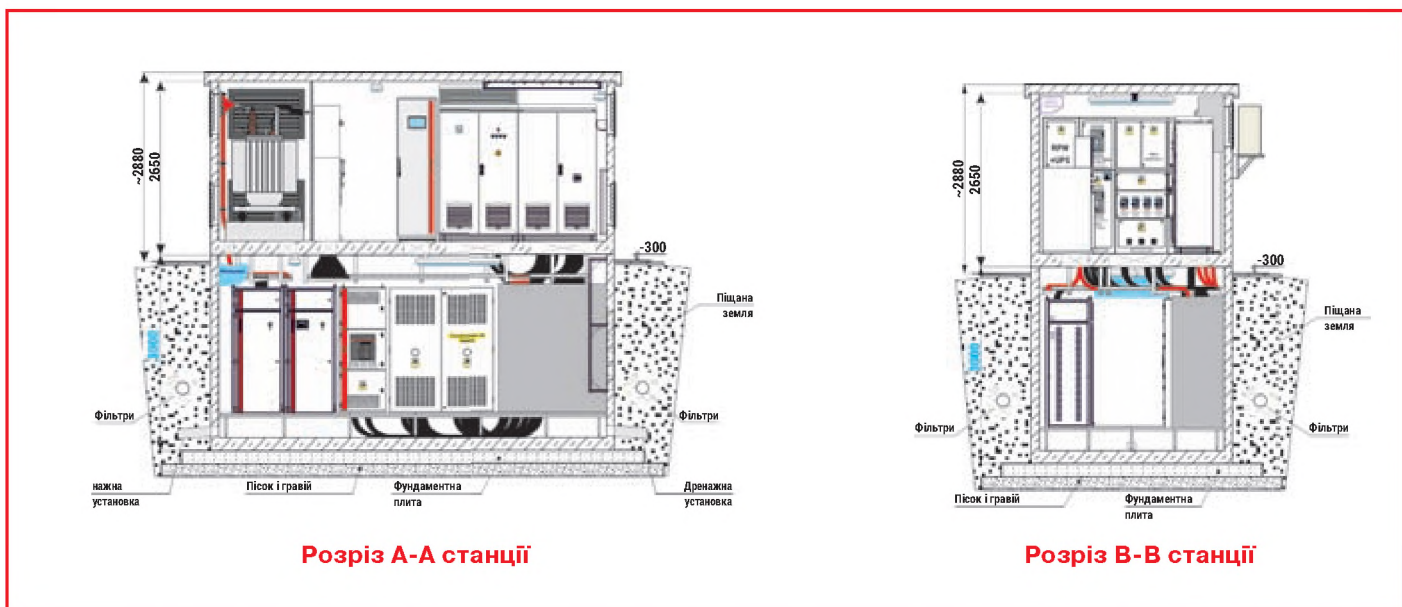
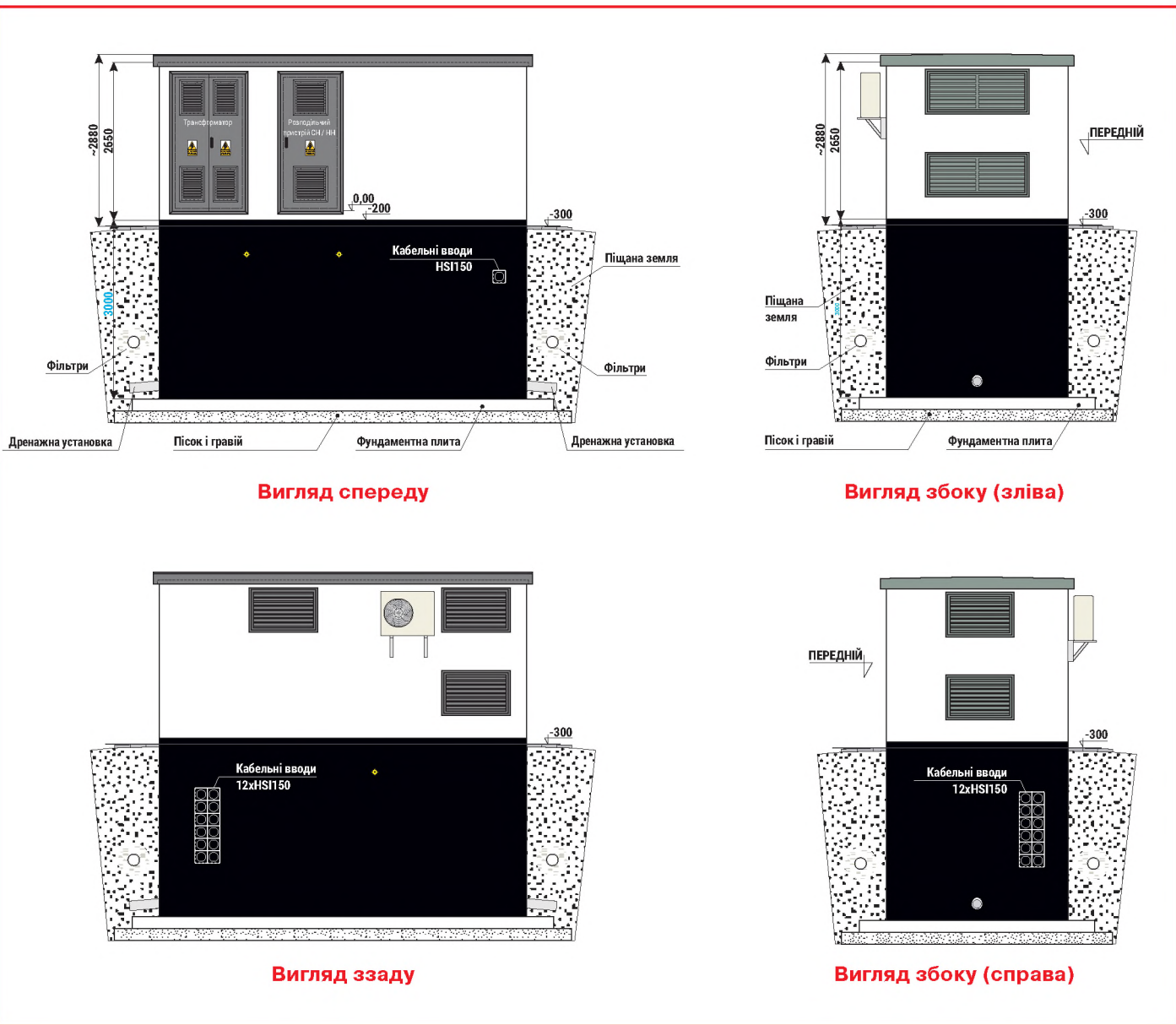
- Виробники енергії з ВДЕ.
- Житлові будинки.
- Промислові підприємства.
- АЗС.

**НОМІНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ**

**Номинальні дані:**

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Максимальна потужність трансформатора                                    | 1000 кВА                            |
| Номинальна напруга СН/НН   | 25 кВ / 1 кВ                        |
| Зарядний пристрій постійного струму для електричних транспортних засобів | 100 кВт                             |
| Максимальна потужність / ємність накопичувача енергії                    | 500 кВт / 500 кВт·год               |
| Постійний номінальний струм розподільного пристрою (СН/НН)               | 630 А / 1600 А                      |
| Номинальний короткочасний допустимий струм (СН/НН)                       | 16 кА (3s); 20 кА (1s) / 35 кА (1s) |
| Номинальний піковий струм (СН/НН)  | 50 кА / до 77 кА                    |
| Класифікація внутрішньої дуги  | АВ-20 кА – 1s                       |
| Ступінь захисту IP   | IP 23D                              |
| Зовнішні розміри (довжина / ширина / висота від землі)                   | 6360/3260/2880 мм                   |







### РОЗПОДІЛЬЧІ ПРИСТРОЇ СН ТИПУ TRM

Розподільча апаратура середньої напруги до 25 кВ типу TRM є невеликим компактним розподільчим пристроєм, основним елементом якого є резервуар з нержавіючої сталі, заповнений газом SF<sub>6</sub>, в якому є комутаційні апарати СН роз'єднувач, вимикач і заземлювач. Він призначений для розподілу енергії у вторинних розподільчих мережах. Широкий спектр конфігурацій і додаткових версій з можливістю розширення як праворуч, так і ліворуч дозволяє використовувати навіть у найскладніших мережевих системах, а міцна конструкція та вдосконалена механічна система блокування забезпечують найвищий рівень експлуатаційної безпеки та надійності електропостачання.

#### Обладнання

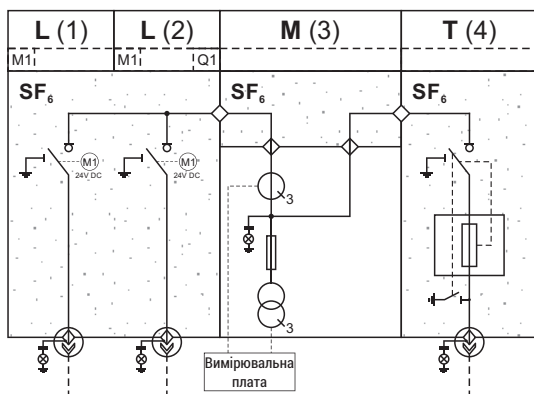
Розподільний пристрій обладнано вимірювальною коміркою типу М. В цій комірці встановлені трансформатори струму та напруги для вимірю-

вання енергії для розрахунків. Параметри трансформаторів були обрані для параметрів мережі та трансформатора.

Роз'єднувачі в лінійних комірках були обладнані моторними приводами, що дозволяють здійснювати дистанційне керування пристроєм. Крім того, розподільний пристрій оснащений:

- вимикач, обладнаний системою гасіння електричної дуги, що в поєднанні з дуже швидким механізмом, що забезпечує закриття роз'єднувача, гарантує безпечне і швидке відключення;
- емнісні дільники напруги;
- індикатор про наявність напруги на кабелі;
- покажчик спрацювання запобіжних вставок в трансформаторній комірці;
- швидкий заземлювач в лінійній комірці;
- швидкий заземлювач, який заземлює вставку запобіжника з обох сторін в трансформаторній комірці.

#### СХЕМА

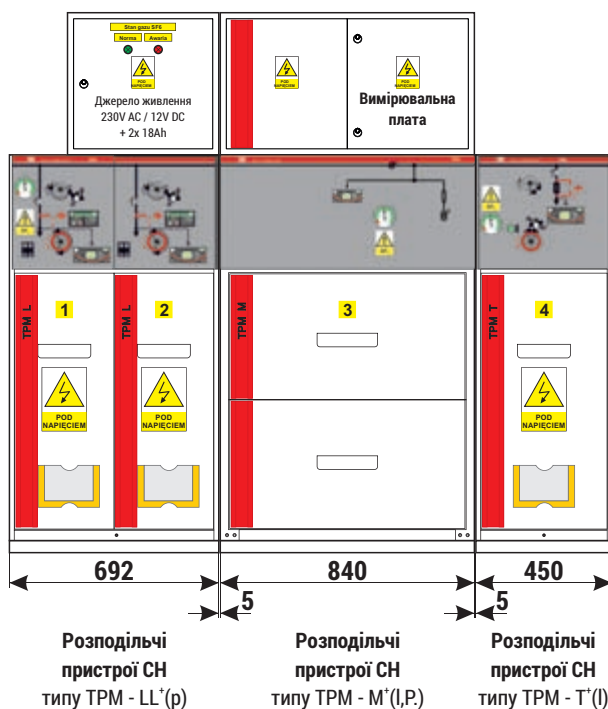


#### Розподільний пристрій СН типу TRM

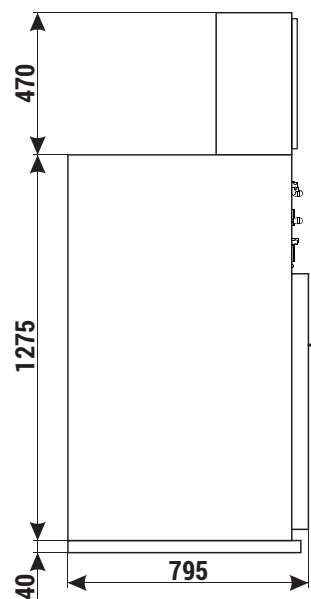
конфігурація LL+(p)+M+(l,p)+T+(l) створена. ТОВ «ZPUE S.A.»

- U<sub>r</sub> = 25 кВ
- I<sub>r</sub> = 630 А
- I<sub>k</sub> = 20 кА(1s)
- I<sub>p</sub> = 50 кА

#### вигляд спереду



#### вигляд збоку



## РОЗПОДІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ НН RN-W 400 VAC

Низьковольтні розподільні пристрої типу RN-W, призначені для живлення низьковольтного електрообладнання НН.

Їх використовують на трансформаторних підстанціях, для міських електричних мереж, на промислових підприємствах, в торгових центрах, а також на інших об'єктах.

### Характеристики

- Всі кабельні з'єднання виконані в нижній частині розподільного пристрою.
- Малі габарити, компактна конструкція.
- Можливе вимірювання струму в відхідних лініях.
- Можливість безпечної заміни несправного вимикача-роз'єднувача без вимикання розподільного пристрою.
- З'єднання кабелів без кабельних затискачів.
- Можливість роботи з кабельними мережами НН типу TN-S, TN-C, TN-C-S, TT, IT.
- Можливість виведення відхідних кабелів вгору.
- Гніздо запобіжника, що живиться від вимикача, зазвичай встановлюється на корпус модуля живлення.

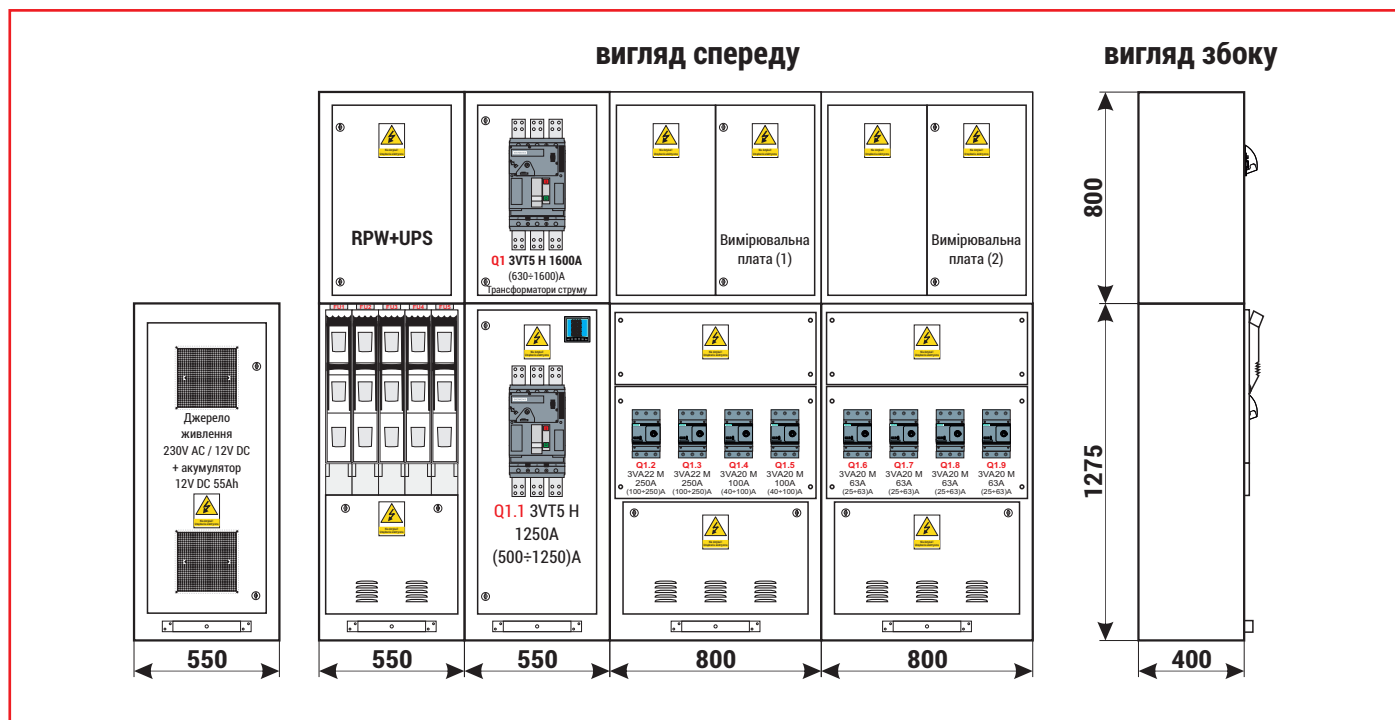
### Обладнання

#### ■ Блок живлення:

- Силові вимикачі Q1 3VT5 H 1600A, оснащені електронним захистом, розчеплювачами і приводом від Siemens.

#### ■ Вихід:

- в секції відхідних ліній застосовано наступні пристрої:
  - вимикачі роз'єднувачі FU1–FU5 ARS gr.3 компанії Apator S.A.;
  - вихідний вимикач Q1.1 3VT5 H 1250, обладнаний електронним захистом, моторним приводом і розчеплювачем компанії Siemens;
- автоматичні вимикачі Q1.2–Q1.3 3VA22M 250A, оснащені електронним захистом, моторним приводом і розчеплювачем компанії Siemens;
- автоматичні вимикачі Q1.4–Q1.5 3VA20M. 100A, оснащені електронним захистом, моторним приводом і розчеплювачем компанії Siemens;
- автоматичні вимикачі Q1.6–Q1.9 3VA20M. 63A, оснащені електронним захистом, моторним приводом і розчеплювачем компанії Siemens;
- блок живлення та акумулятор 12 В / 55 А;
- вимірювальні прилади;
- пристрій власних потреб RPW + модульне обладнання;
- шинні приєднання виготовлені з мідних смуг, переріз яких відповідає номінальному струму.



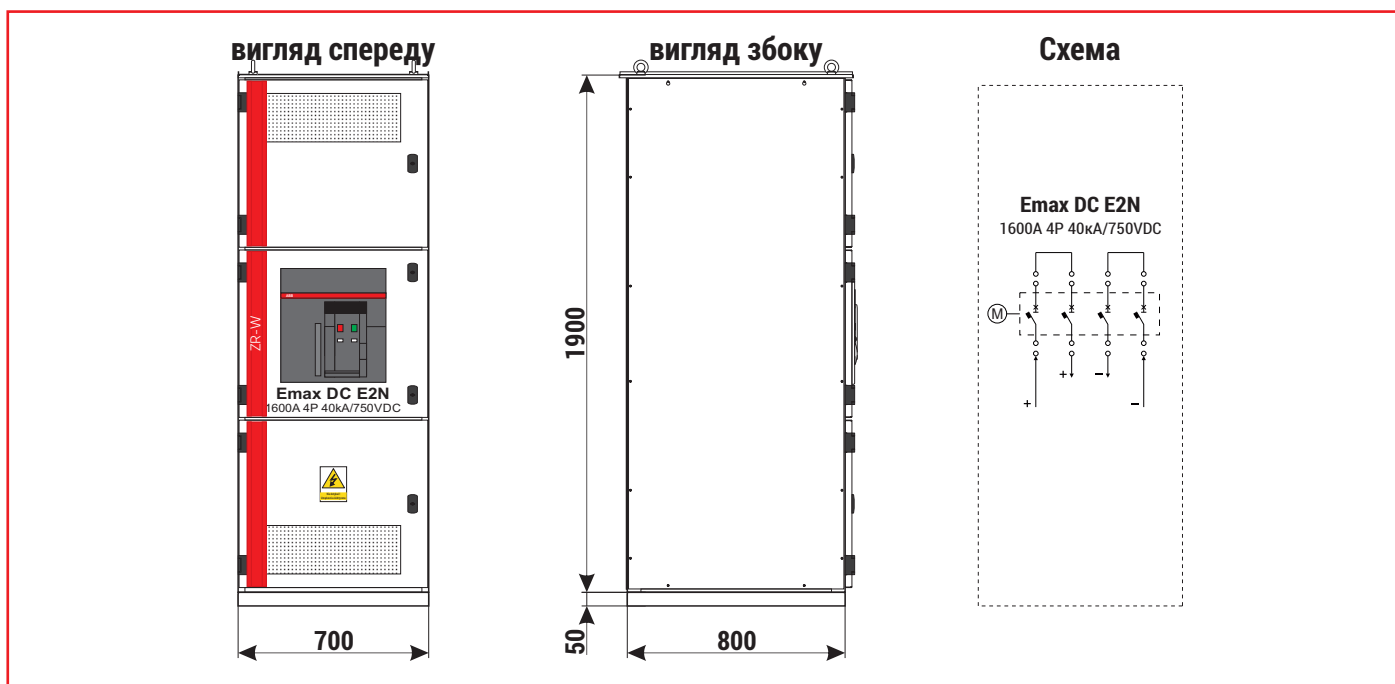
## РОЗПОДІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ НН ТИПУ ZR-W 750 VDC

Розподільчі пристрої типу ZR-W призначені для розподілу електричної енергії на кожному рівні електропостачання, а також для керування та захисту електрообладнання від коротких замикань і перевантажень. Можуть використовуватися як головні розподільні щити, цехові щити або шафи керування.

Завдяки універсальності конфігурації розподільчий пристрій ZR-W може використовуватися в наступних галузях:

- хімічна / нафтохімічна;
- фармацевтична;
- електростанції та ТЕЦ;
- *важка промисловість*: шахти, сталеливарні заводи, коксохімічні заводи;

- легка промисловість: паперова, текстильна, побутова техніка.
- А також і для потреб інфраструктури:
- серверні кімнати.
- аеропорти.
- офісні будівлі.
- торгові центри.
- лікарні.

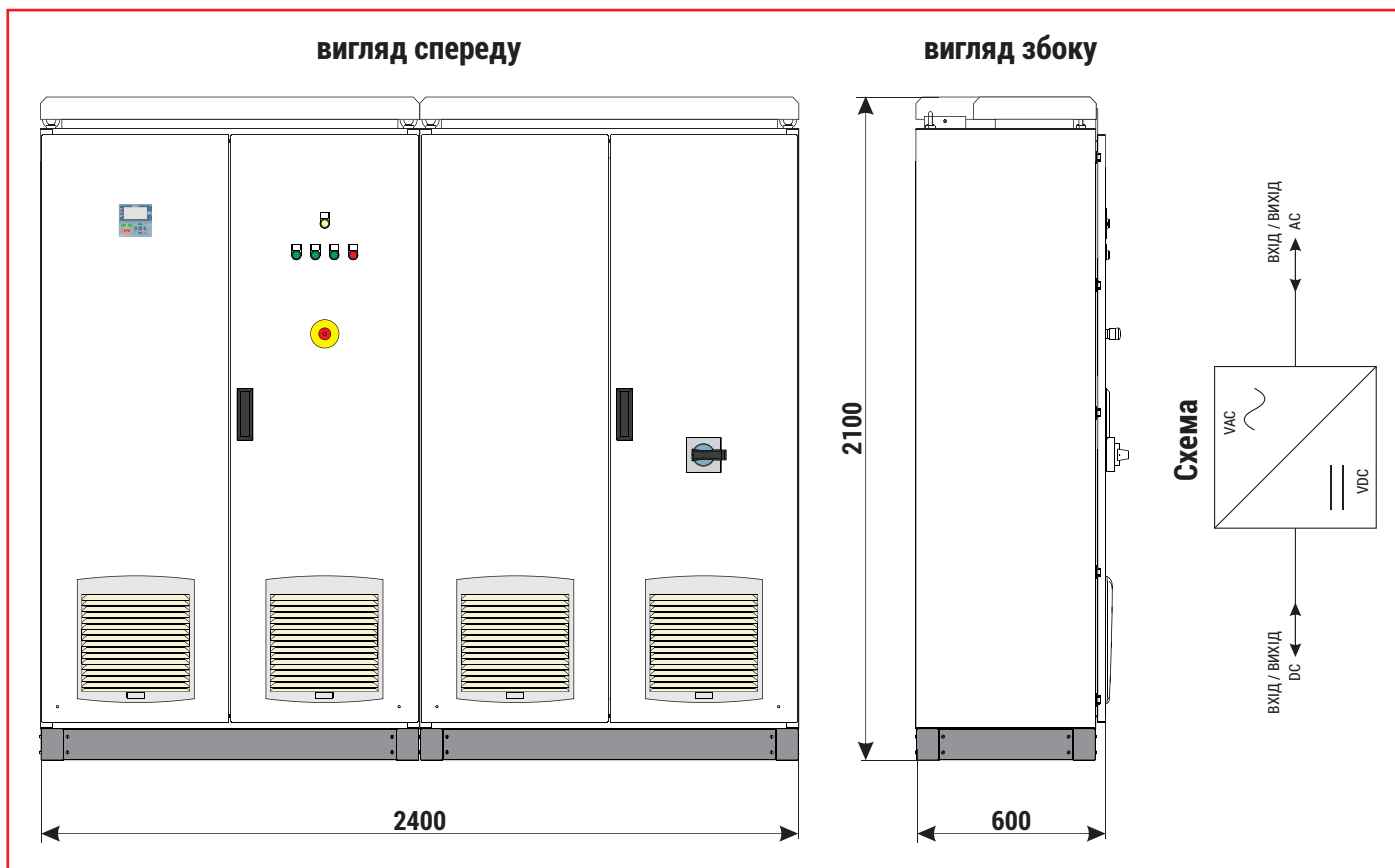


## ДВОСТОРОННІЙ АС / DC ПЕРЕТВОРЮВАЧ

Пристрої забезпечують перетікання енергії (зберігання та видачу) між енергосистемою (мережа змінного струму 3x400В) та батареєю акумулято-

рів постійного струму. Управління (контроль) може здійснюватись по заздалегідь визначених сценаріях роботи або через систему управління з використанням протоколу Modbus TCP / IP.

Приклад застосування: а) підвищення якості та стабільності мережі; б) оптимальне використання



відновлюваних джерел енергії для власних потреб; в) компенсація реактивної потужності; г) компенсація реактивної потужності з одночасним використанням активної потужності для зарядки / розрядки батарей (поділ налаштовується на льоту); д) споживання енергії, накопиченої за більш сприятливим тарифом; е) функція UPS.

Система вимагає лише підключення мереж змінного струму, акумуляторних батарей постійного струму та сигналів управління. Інші елементи, необхідні для роботи системи (RFI-фільтр, трансформатор, LCL-фільтр, контактори, реактори постійного струму тощо), вбудовані в поставлений промисловий корпус.

## БАРАТЕРЕЯ LI-ION АКУМУЛЯТОРІВ З СИСТЕМОЮ BMS

Акумуляторна система, встановлена в щиті, складається з сучасних і надійних літій-іонних елементів, які є одним з кращих варіантів, доступних на ринку. Крім надійних елементів, батареї містять інші довговічні компоненти, які, з одного боку, гарантують хорошу якість продукції, а з іншого — забезпечують тривалий термін служби.

Продукт призначений для приміщень, що потребують зберігання енергії, наприклад, у разі переривання електроживлення. Система стелажів 180S01P з літій-іонними модулями 12S01P є модульною системою і може бути використана для зберігання енергії в розумних будівлях та розумних розподільчих мережах.

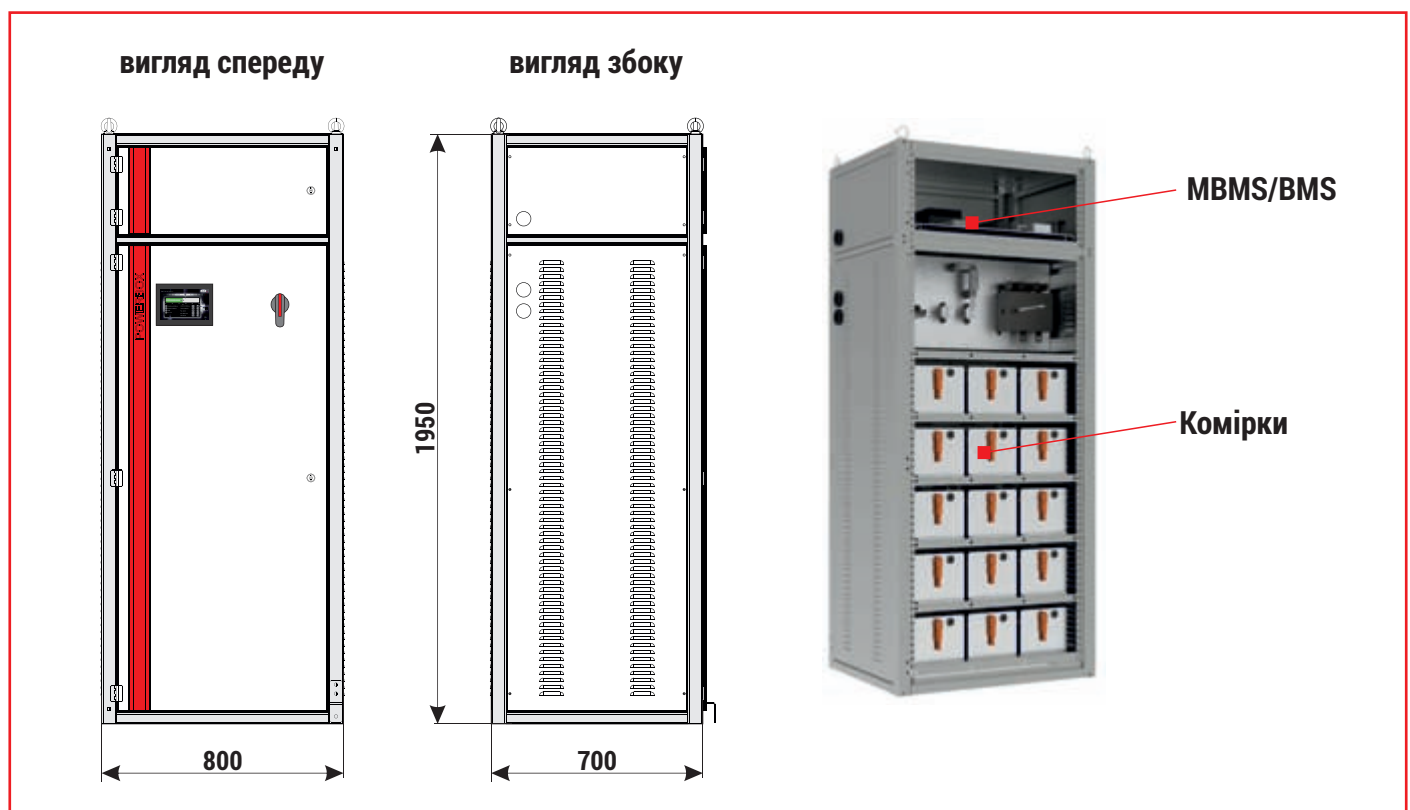
Акумулятор зв'язується з зовнішніми пристроями за допомогою протоколу Modbus і оснащений всіма необхідними засобами захисту, які захищають акумулятор від шкідливих умов, таких як: перевантаження, надмірне розрядження та інших небезпечних для користувача і самої батареї.

### Функції BMS

Керування набором батарей до 80 штук, з'єднаних паралельно. Надання інформації про поточний

робочий стан акумуляторної батареї в реальному часі:

- максимально можливий зарядний струм;
- максимально можливий струм розряду;
- поточний рівень заряду SOC (State of Charge);
- кількість активних батарей;
- миттєвий струм (заряд / розряд);
- миттєва напруга;
- залишкова ємність акумуляторної батареї (А-год);
- лічильник споживання енергії;
- середня температура;
- найвища температура;
- найнижча температура;
- попередження / Помилки;
- поточний робочий стан (зарядка, розряд, готовність до роботи);
- зв'язок з програмою за допомогою протоколу MODBUS TCP;
- дистанційний моніторинг - циклічний збір даних щодо комплекту акумуляторів та їх запис на серверах виробника;
- можлива адаптація модулів виробника з вторинного ринку;
- цифрові виходи, які можна використовувати для інтеграції акумуляторної батареї з системою перетворювача.



## СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ СТАНЦІЇ SPS "SPS-CONTROL"

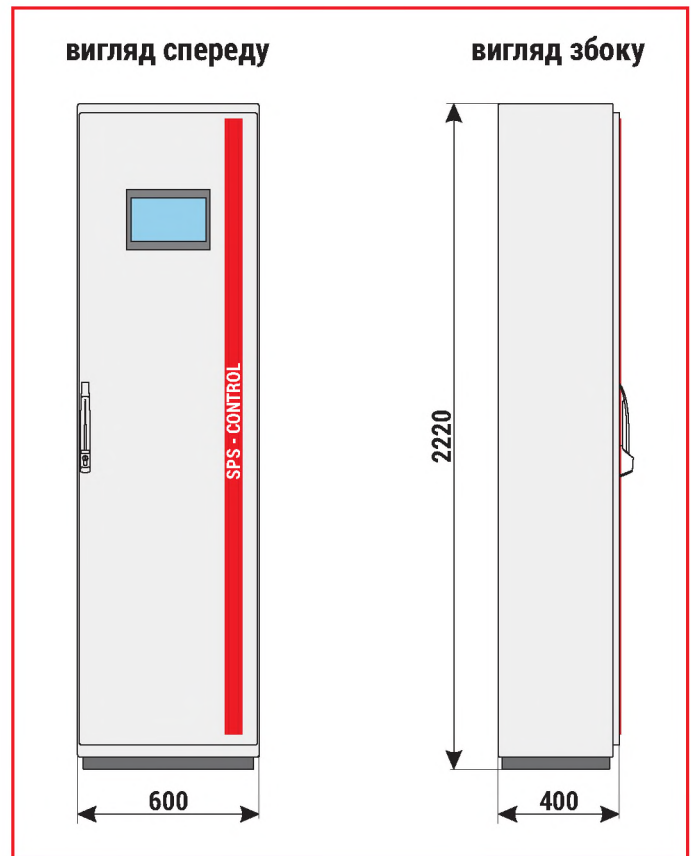
Основними компонентами шафи керування для системи керування SPS є PLC контролер і панель оператора, розташована на станції в шафі керування. Контролер використовується для спостереження за станами станції та розподільчих пристроїв. Управління здійснюється за допомогою цифрових сигналів, а також за допомогою комунікаційних модулів, що дозволяють здійснювати зв'язок з кількома пристроями за допомогою протоколу Modbus RTU і Modbus TCP. У результаті збирається інформація з мережевих аналізаторів параметрів та лічильників енергії, а також з пристроїв, що беруть участь у функціях системи SPS.

Ці пристрої це:

- розподільчий пристрій НН;
- розподільчий пристрій СН;
- лічильники та аналізатори енергії;
- зарядні пристрої змінного і постійного струму;
- двонаправлений інвертор;
- контролер банку акумуляторів MBMS;
- Кондиціонер.

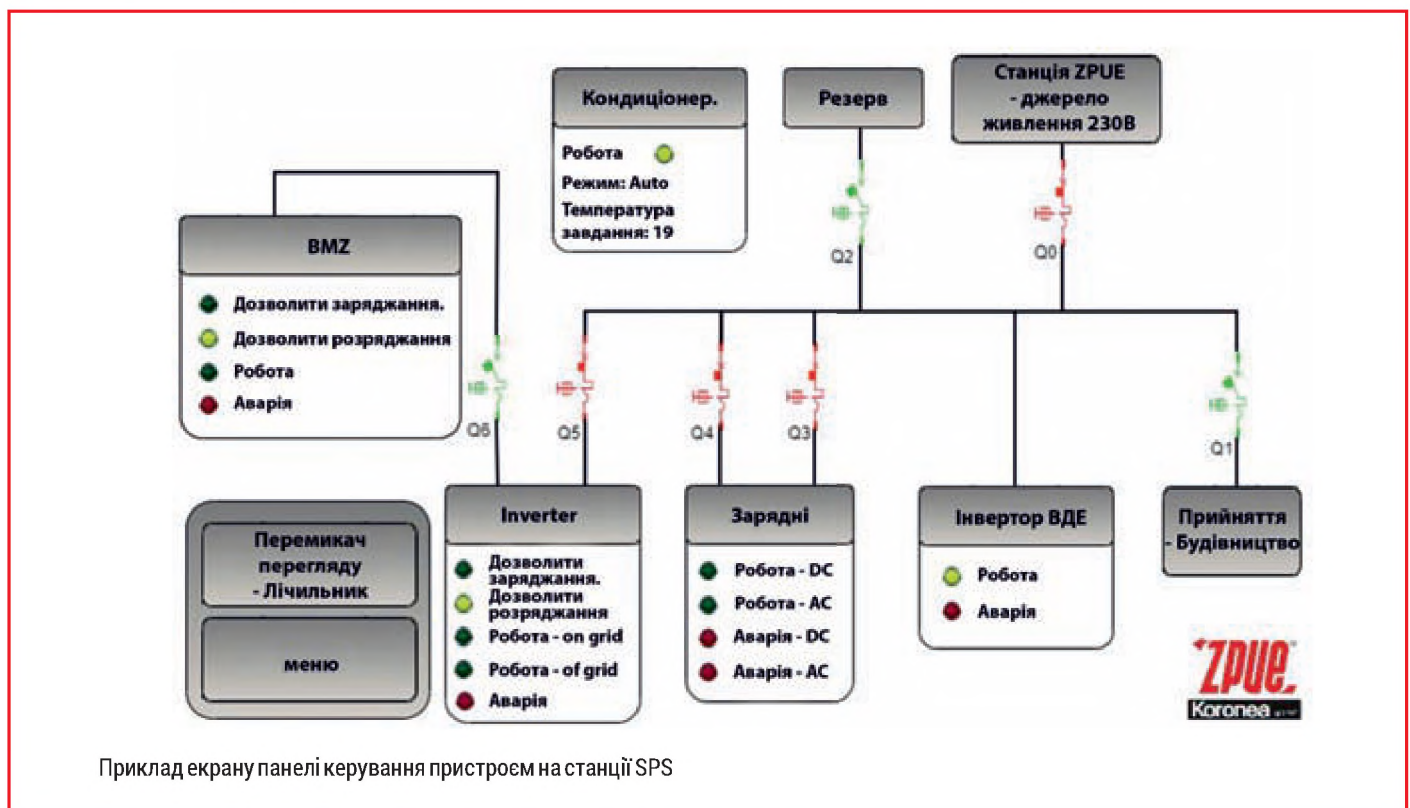
Контролер має кілька інших протоколів, таких як DNP3.0, який використовується в системах електричного керування та нагляду та OPC UA. Ці протоколи значно спрощують обмін інформацією між контролером і існуючими SCADA-мастер-системами на ринку.

Панель оператора, розташована на фасаді шафи автоматики, служить для місцевого контролю всередині станції. На панелі відображається візуалізація, що надається PLC за допомогою протоколу HTTP. Слід зазначити, що доступна таким чином візуалізація забезпечує обмежену функціональність (серед інших: відсутність довготривалої архівації даних та



звітності) у порівнянні з вищою системою SCADA. Візуалізація дозволяє переглядати і змінювати параметри пристрою та їх локальне керування.

Нижче наведено екран, що показує спрощену схему підключення та всі пристрої. Можна керувати як кожним пристроєм окремо, так і групою пристроїв в автоматичному режимі, що реалізують індивідуальні функції станції SPS.



**Доступні функції:**

- згладжування кривої навантаження;
- стабілізація параметрів мережі на стороні низької напруги;



**Приклад екрану панелі оператора для налаштування функцій SPS-станції**

- компенсація реактивної потужності;
- зарядка електричних автомобілів тільки від накопичувача енергії;
- зарядка електричних автомобілів тільки від електромережі;
- зарядка електричних автомобілів з електромережі та накопичувача енергії;
- зарядка накопичувача енергії з мережі не в піковий період;
- зарядка накопичувача енергії з мережі в будь-який час;
- зарядка накопичувача енергії з ВДЕ;
- заборона генерації енергії в розподільчу мережу;
- робота станції SPS у режимі OFF grid.

Для кожної функції було підготовлено окремий екран.

За допомогою кнопок на панелі меню можна перейти до екранів, які дозволяють параметризувати функцію (серед інших: встановлення лімітів, налаштувань контролера) і відображення поточних параметрів мережі та пристрою на графіку.

**ВІЗУАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ СТАНЦІЇ SPS-SCADA**

Вища система SCADA станції SPS використовується для віддаленого моніторингу, управління, повної параметризації та запису всіх параметрів, подій і сигналів з усіх пристроїв SPS-станцій. Контролюються положення головних вимикачів на кожному виході і сигналізація активації захисту в розподільчому пристрої НН. Крім того, кожний вихід вимірюється лічильниками енергії або мережевими

аналізаторами, з яких дані передаються в систему SCADA і подаються у вигляді поточних значень, історичних карт або як варіант у вигляді періодичних звітів у системі зовнішньої звітності. З рівня системи SCADA можна також дистанційно керувати вимикачами на окремих виходах.

Кожен з пристроїв контролюється за робочим станом, попереджувальними і тривожними сигналами, а також заданими і поточними параметрами.



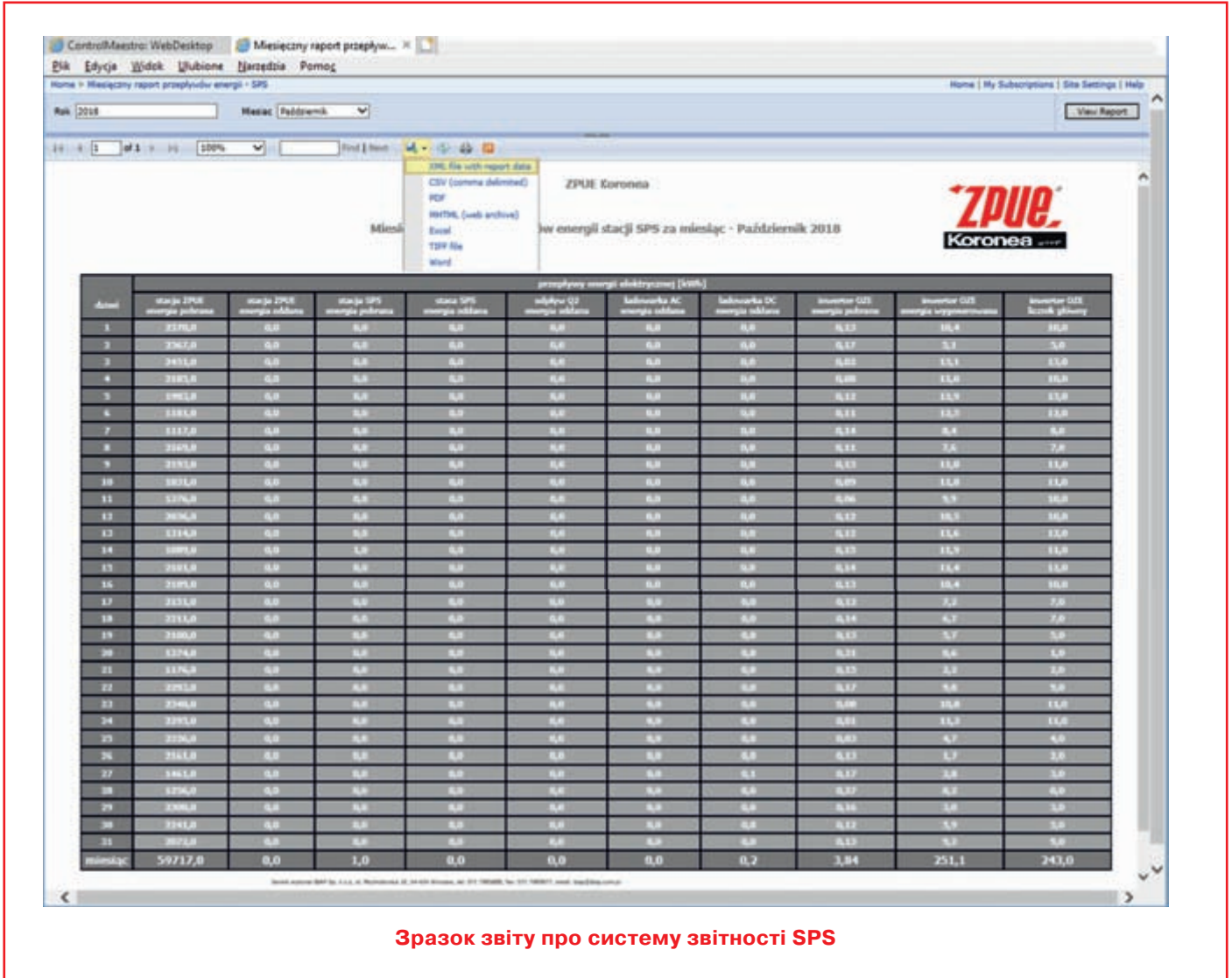
**Екран системи SCADA для моніторингу електричних параметрів станції**

## СИСТЕМА ВЕБ-ЗВІТІВ РОБОТИ СТАНЦІЇ SPS-R

Реєстрація вибраних параметрів у зовнішньому MS SQL Server дозволяє легко інтегрувати дані з іншими клієнтськими базами кінцевого споживача (MES, ERP системи). Використання середовища MS Reports Services дозволяє проводити підготовку розширених наборів звітів і аналізу даних, а також їх доступність через веб-браузери, а також їх експорт до файлів, наприклад: .xls, pdf.

### Пропозиція включає надання:

- 1) звіт SPS енергетичного балансу добовий годинний, заснований на показаннях енергії окремих лічильників і аналізаторів;
- 2) щомісячний звіт про енергетичний баланс SPS, розбитий за днями на основі енергетичних показників індивідуальних лічильників та аналізаторів;
- 3) звіт про енергетичний баланс, щорічно за місяцем, на основі показань лічильників і аналізаторів.



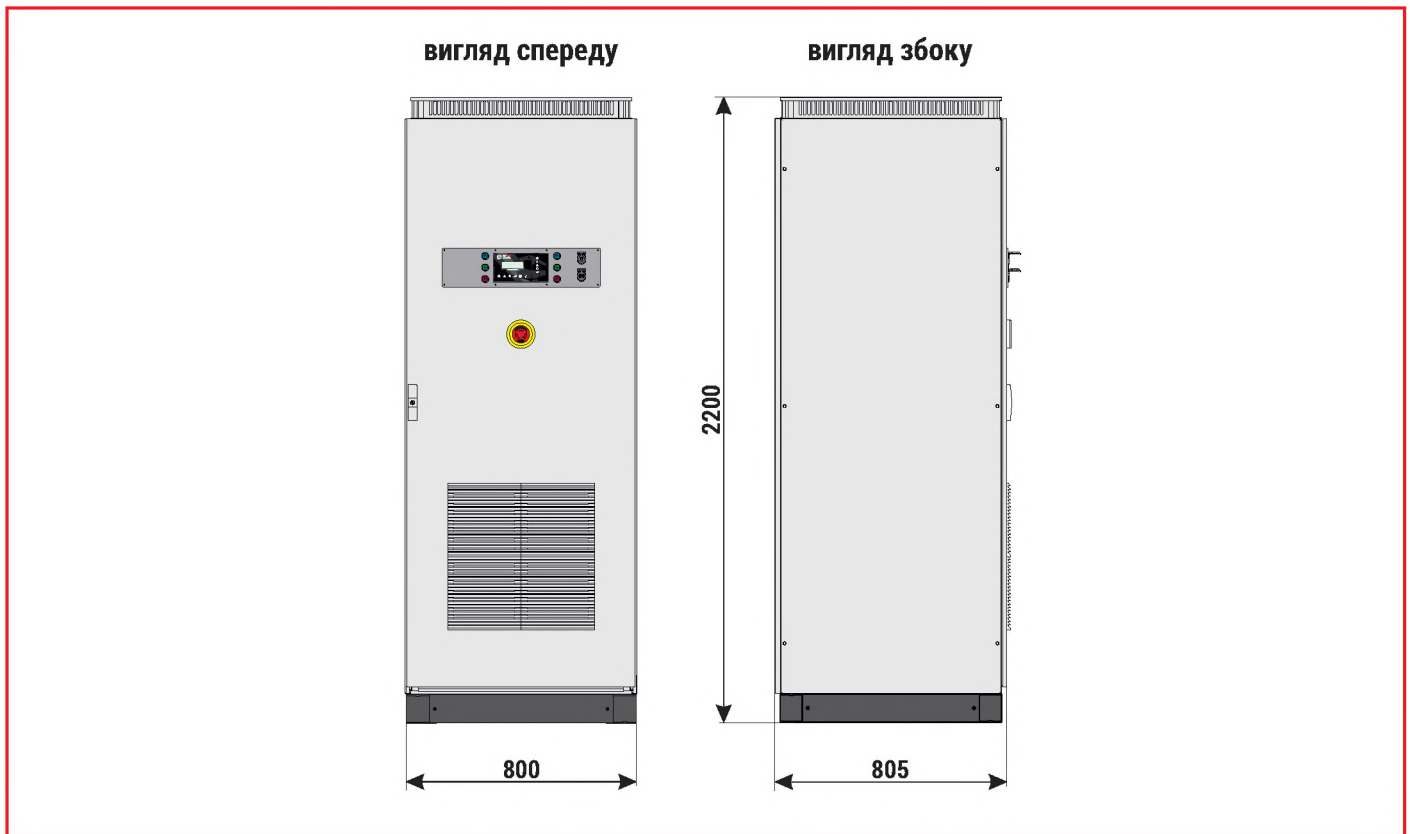
## ЗАРЯДКА ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ

Станція заряджання електричного автомобіля, яка складається з зарядного пристрою та розподільчого пункту.

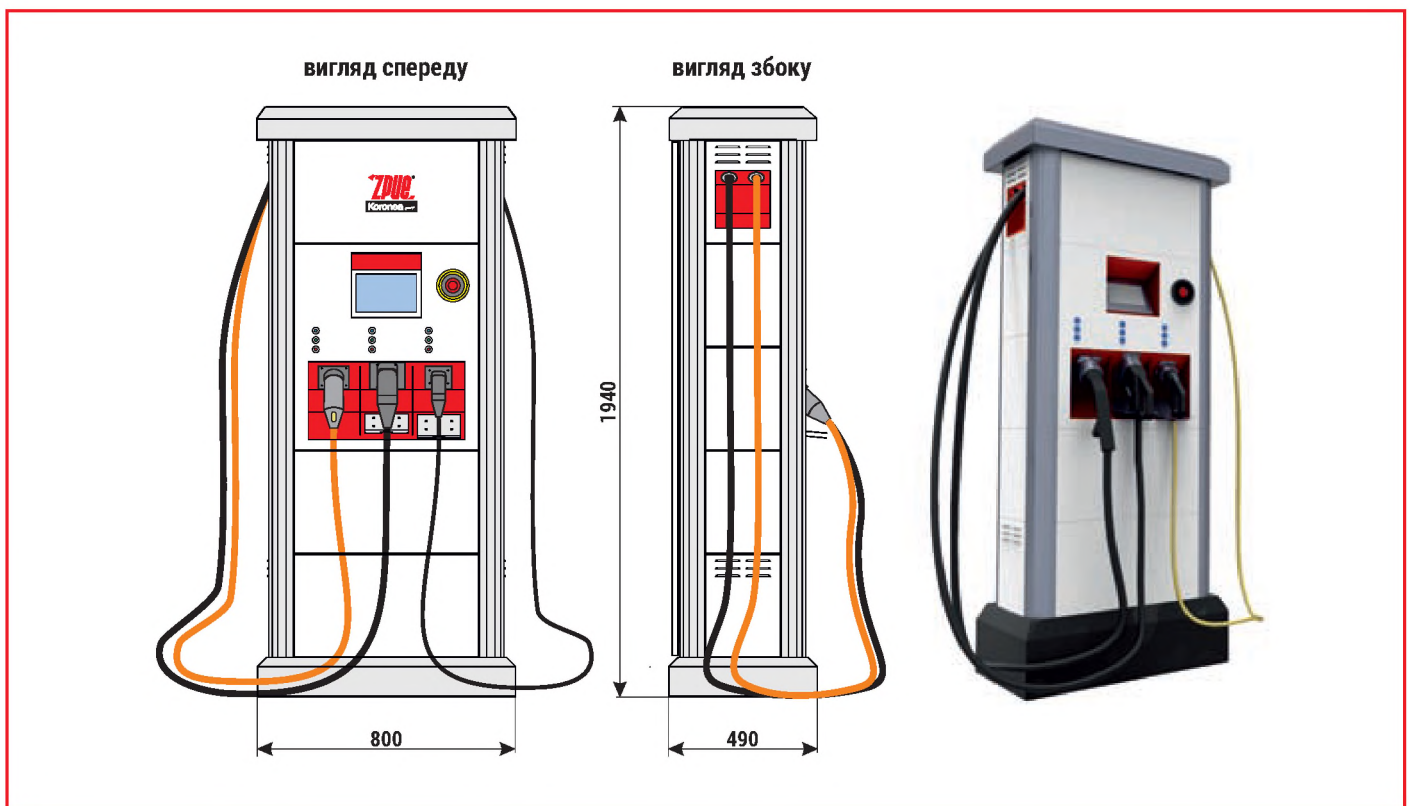
Зарядний пристрій керує розподільчим пунктом, з якого можна заряджати електронні транспортні засоби: CHAdeMO, CCS Type 2, AC 2 типу. Зарядний пристрій підходить для зарядки від роз'єму постійного струму (CHAdeMO, CCS Type 2) і роз'єму змінного струму типу 2 одночасно.

Пристрій може бути віддалений від розподільчого пункту до 200 м і може одночасно заряджати два розподільчих пунктів. Можна підключитися до зарядного пристрою через Wi-Fi, LTE. Можливість нагляду здійснюється за допомогою мобільних додатків шляхом збереження даних у хмарі, звітності, архівування за протоколами OCPP 1.6 або MODBUS TCP.

Система спостереження MODBUS TCP — це програма, призначена для комплексного управління станціями швидкої зарядки. Вони дають можливість дистанційного керування та контролю стану роботи зарядки.



**ЗАРЯДКА ДЛЯ ТРАНСПОРТУ/РОЗПОДІЛЬЧИЙ ПУНКТ**



**Товариство з обмеженою відповідальністю  
“ЗПУЕ УКРАЇНА”**

76008 м. Івано-Франківськ, вул. Хіміків, 18.

Тел. +38 067 342 77 47. E-mail: office@zpue.com.ua



X МІЖНАРОДНА  
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА  
**MINING &  
MINERALS EXPO**



**13–15 ЖОВТНЯ 2026**

**ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ДЛЯ  
ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**



**Місце проведення:**  
МВЦ, м. Київ,  
Броварський пр-т, 15,  
станція метро «Лівобережна»

**Контакти:**

 + 38 (066) 921-47-51  
 [sher@iec-expo.com.ua](mailto:sher@iec-expo.com.ua)  
 [www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)





**С.В. Тихоненко,**  
експерт-  
тестувальник,

**ТОВ Фірма  
"Елекон ЛТД"**



Надійшла  
Received **17.11.2025**

## ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЯ В УМОВАХ СТАБІЛІЗАЦІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

### СУТЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЇ

Теплоакумулятор — це спеціальна, добре утеплена ємність, наповнена теплоносієм (найчастіше водою), яка служить для накопичення, зберігання та подальшої віддачі теплової енергії в систему опалення, гарячого водопостачання, тощо.

Принцип його роботи ґрунтується на високій теплоємності води.

Накопичення тепла: Коли теплогенератор працює на своїй максимальній (оптимальній) потужності, він виробляє більше тепла, ніж потрібно системі теплопостачання в даний момент. Це надлишкове тепло, нагріваючи теплоносій, направляється в теплоакумулятор. У цей час вода в ємності швидко нагрівається, накопичуючи енергію.

Під час вимкнення електроенергії, коли основне джерело теплопостачання (електричний котел) не працює, теплоакумулятор виступає в якості резервного джерела тепла достатньо великої потужності. Забезпечується подача тепла протягом певного часу (залежно від об'єму ємності) при повній зупинці основного джерела енергії. Для максимальної ефективності та контрольованої віддачі тепла потрібне джерело безперебійного живлення (ДБЖ) невеликої потужності, яке зможе живити автоматику системи під час вимкнень.

### ДОСВІД ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ АВТОМАТИЗОВАНИХ З ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЄЮ

В грудні 2023 року на одному з промислових підприємств було введено в експлуатацію систему гарячого водопостачання на базі вузлів електроіндукційного нагріву ВЕНАз-50-А-Г з блоком ГВП та накопичувальною ємністю для гарячої води 3000 л, потужністю 50 кВт (4 одиниці).

До цього гаряче водопостачання забезпечувалось промисловими бойлерами з ТЕНами (резистивного нагріву) по 90 кВт кожний. За технічним завданням було демонтовано чотири таких бойлери, і замість них встановлено 4 од. вузлів електроіндукційного нагріву ВЕНАз-50-А-Г. Таким чином, потужність установок для ГВП було зменшено з 360 кВт до 200 кВт.

Бойлери з ТЕНами мали багато недоліків, пов'язаних з коротким терміном служби, низькому рівні електро- і пожежобезпеки, ненадійності, необхідності регу-





лярного обслуговування. Багато часу та ресурсів займали ремонти бойлерів при виході з строю ТЕНів.

Також усі операції, пов'язані з гарячим водопостачанням, здійснювалися спеціально задіяним персоналом підприємства вручну. Температура гарячої води не відповідала санітарним нормам. По-перше, бойлери — накопичувачі гарячої води були виконані з чорного металу. По-друге, в систему поступала гаряча вода, температура якої не регулювалась (спочатку в трубопроводі йшла небезпечно перегріта вода з температурою вище 80°C, потім в бойлери надходила холодна вода, температура гарячої води швидко зменшувалася і часто її не вистачало для миття всіх робітників підприємства у встановлений час.

На відміну від бойлерів з ТЕНами, вузли електроіндукційного нагріву автоматизовані ВЕНА, що працюють на промисловій частоті (50 Гц), мають низку переваг, це:

- високі енергетичні показники — ККД 98% та коефіцієнт потужності 0,985;
- безпека для навколишнього середовища і здоров'я людей;
- пожежо- і вибухобезпечність;
- відсутність місцевих перегрівів, рівномірний нагрів (малий градієнт температур між теплоносієм і теплообмінним пристроєм);
- простота підключення, експлуатації і обслуговування;
- неможливість до хімічного складу води або антифризу в системі опалення;
- автономність;
- автоматична система управління з високою точністю підтримки заданих параметрів. Управління

роботою вузлу електроіндукційного нагріву здійснюється автоматизовано.

Важливо, що гаряча вода, що готується, відповідає санітарним нормам. Її температура постійна і підтримується на необхідному рівні за допомогою терморегулювання і теплообмінника, що виготовлений з нержавіючої сталі. Сама ємність служить тільки для накопичення теплової енергії (акумуляції тепла), що виробляється індукційними нагрівачами.

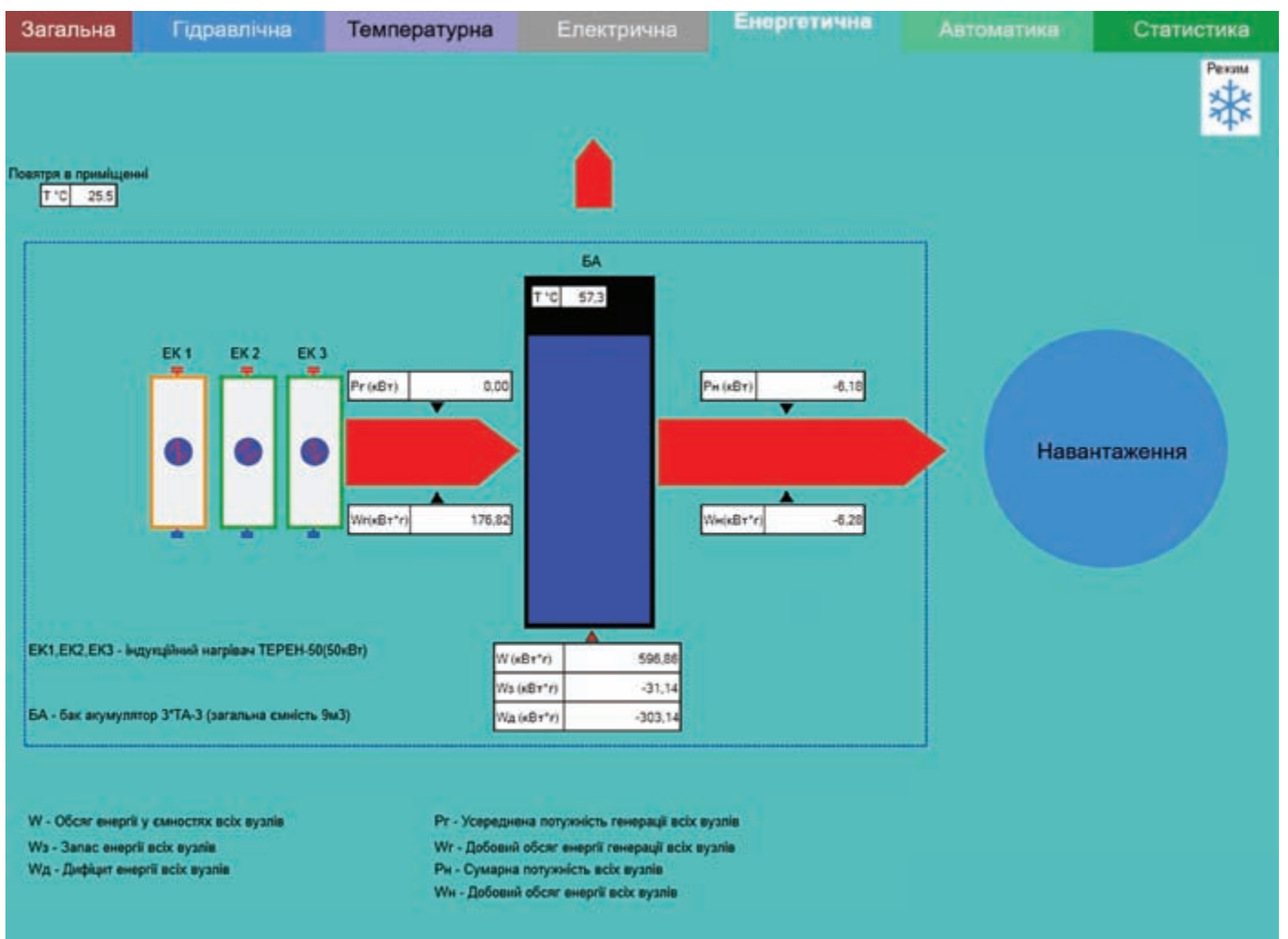
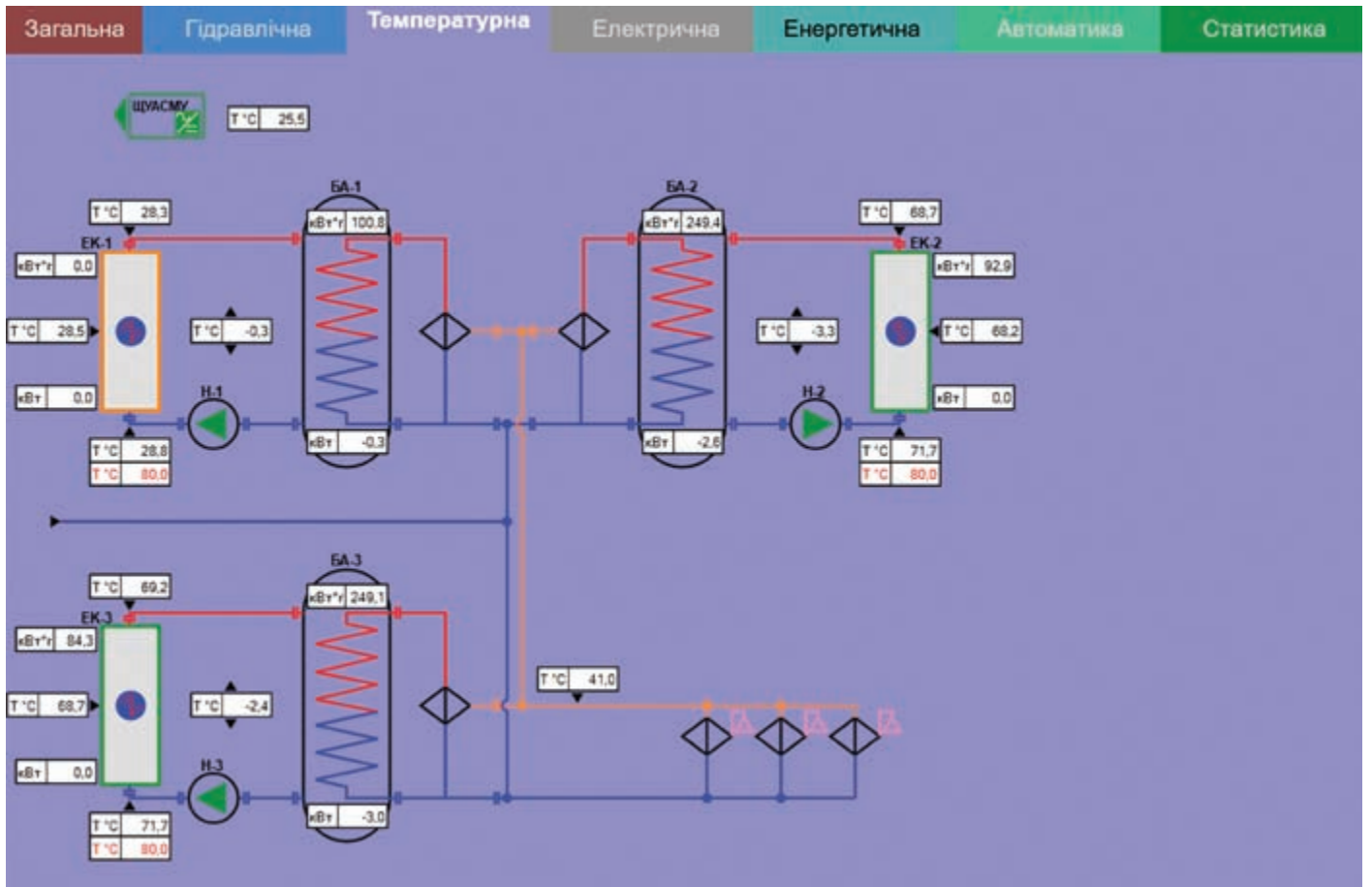
За ініціативи компанії — виробника вузлів електроіндукційного нагріву ВЕНА, **ТОВ Фірма “Елекон Лтд”** з метою контролю та моніторингу показників роботи вузлів ВЕНА, на об'єкті було встановлено **програмно-технічний комплекс “КОДАС”**.

Програмно-технічний комплекс (ПТК) “КОДАС” — це технічна база АСМУ, яка складається з пристроїв і компонентів промислової автоматики і зв'язку, призначених для автоматичного регулювання, управління, контролю технологічних параметрів та передачі інформації, з'єднаних через кабельні мережі з комплексами автоматизації інженерних систем, а також із засобів програмного забезпечення визначених функцій.

Застосування ПТК “КОДАС” дозволило провести моніторинг і аналіз показників роботи вузлів електроіндукційного нагріву автоматизованих ВЕНА-50-А-Г на об'єкті протягом року експлуатації.

За результатами моніторингу, можна зробити такі **висновки**:

- протягом усього терміну експлуатації вузлів не зафіксовано жодної нештатної (аварійної або перед аварійної) ситуації. А це значить — економія трудових та матеріальних ресурсів на ремонти та обслуговування;



- у будівлі, де встановлено 3 одиниці ВЕНА-50-А-Г, для якісного гарячого водопостачання вистачило б 2 одиниці ВЕНА-50-А-Г (достатньо потужності 100 кВт). Проте в умовах стабілізаційних відключень електроенергії краще завжди мати резерв тепла, тому третій вузол створює такий резерв;
- температура гарячої води у ввідному трубопроводі підтримується 45°C. Перегріву 80–90°C або недогріву 30–35°C виключені. Термостат-змішувач у системі приготування гарячої води — механічний, не потребує електроживлення і добре працює весь час незалежно від наявності напруги в мережі;
- холодна вода нагрівається, проходячи через теплообмінник, занурений у нагрітий теплоносій у ємності, і марно не витрачається, бо гаряча йде в систему комфортної температури. Якщо теплоаккумулятор заряджений, вузол нагріву в цей час може бути повністю знеживлений, адже для подачі холодної води достатньо тиску, створюваного насосами системи холодного водопостачання;
- також моніторинг показав, що добова витрата енергії на ГВП у зимовий період (грудень–березень) складає 900 кВт·год/добу, в літній період (квітень–серпень) — до 600 кВт·год/добу. Припускається, що частина різниці пов'язана з втратами в тепломагістралях — труби не теплоізовані. Доцільно провести теплоізоляцію для мінімізації втрат тепла;

- моніторинг часу роботи устаткування (насосів) дозволяє відслідковувати напрацювання і своєчасно планувати періоди ремонту (заміни) та обслуговування;
- моніторинг показників дозволяє бачити, яке обладнання працює нормально, а яке — потребує налаштувань та регулювання.

Автоматизована система моніторингу та управління (АСМУ) опаленням та ГВП на базі ПТК "КОДАС" дає змогу не тільки проводити моніторинг роботи обладнання і бачити загальну розгорнуту картину для аналізу енергетичних показників, а й віддалено налаштовувати обладнання для підвищення енергоефективності і покращення економічних показників інженерної системи.

Готуючи цей матеріал до публікації, ми вирішили торкнутися лише принципу роботи теплогенераторів з теплоаккумуляторами на прикладі вузлу електроіндукційного нагріву, не поглиблюючись в розрахунки необхідної теплової потужності нагрівачів, ємності теплоаккумуляторів, тощо. Це завдання для фахівців, що проводять розрахунки для кожного об'єкту впровадження. А сфера застосування теплоаккумуляції не обмежується гарячим водопостачанням або опаленням. Це можуть бути і технологічні процеси, наприклад, в харчовій, хімічній промисловості, машинобудуванні.



**plast  
EXPO UA**

**XVII Міжнародна спеціалізована виставка  
технологій та обладнання для переробки  
полімерів**



**26-28 травня 2026**

Генеральний інформаційний партнер: 

**Місце проведення:**  
 МВЦ, м. Київ,  
 Броварський пр-т, 15,  
 станція метро «Лівобережна»

 +38 (066) 921-47-51

 [plast@iec-expo.com.ua](mailto:plast@iec-expo.com.ua),  
[1212@iec-expo.com.ua](mailto:1212@iec-expo.com.ua)

 [www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)







Надійшла  
Received 12.09.2025



С.В. Облакевич,  
головний фахівець

ТОВ “Український  
інститут сталевих  
конструкцій імені  
В.М. Шимановського”

## ПРОЄКТ ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ РОЗРОБЛЕННЯ ДЕРЖАВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ НОРМ ДБН В.2.5-ХХ “ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ. ПРАВИЛА ПРОЄКТУВАННЯ”

На сьогоднішній день ринок сонячної енергії в світі має невідступне сталі зростання і до кінця 2025 року загальна електрична потужність фотоелектричних станцій (ФЕС) очікується на рівні 2200 ГВт.

Незважаючи на те, що з 2010 року в Україні діяв “зелений” тариф для схем підтримки відновлюваних джерел енергії, інтенсивний розвиток сонячної енергії розпочався лише нещодавно, у 2018–2019 роках. Загалом до 1 січня 2021 року в Україні було встановлено 6 873 МВт сонячної енергії, тоді як 779 МВт або 11% цієї потужності складаються з приватних домашніх фотоелектричних станцій потужністю до 30 кВт.

Дивовижно, що це взагалі відбувається, оскільки в Україні крім стандарту **ДСТУ 8635:2016** щодо вибирання майданчиків для будівництва ФЕС та правил приєднання до електроенергетичної системи, інші норми з проектування та розрахунку параметрів ФЕС відсутні.

Важливо, що за останній період, в рамках гармонізації стандартів України з Євросоюзом, прийнято ряд стандартів, які стосуються питань геліоенергетики і які необхідно використовувати під час розроблення нових будівельних норм. Проте, у зв'язку із добровільним застосуванням стандартів, чисельні імплементовані стандарти ЄС залишаються в Україні необов'язковими і ігноруються. В свою чергу, посилення на стандарти у державних будівельних нормах робить такі стандарти обов'язковими до застосування.

Враховуючи викладене вище доцільно включити в план розробки нормативних документів Міністерства розвитку громад та територій України або Міністерства енергетики України нові норми **ДБН В.2.5-ХХ “Фотоелектричні станції. Правила проектування”**. Це дозволить встановити обов'язкові для всіх учасників ринку вимоги і правила щодо безпеки та надійності фотоелектричних станцій.

**Сфера застосування проекту ДБН (орієнтовна).** Ці норми поширюються на проектування фотоелектричних станцій потужністю від 20 кВт і більше, використовуваних як: **автономні ФЕС; мережеві ФЕС; мережеві інтерактивні ФЕС**, можуть входити до складу електроустановок в житлових будинках та громадських, адміністративно-побутових будівлях і спорудах, промислових підприємств і/або



бути підключені до об'єднаної енергосистеми для генерації електричної енергії.

Ці норми слід застосовувати при новому будівництві, реконструкції і капітальному ремонті електроустановок житлових будинків та громадських, адміністративних-побутових будівель і споруд, промислових підприємств незалежно від форм власності.

**Взаємозв'язок з іншими національними НД:**

• **в частині термінів і визначення понять:**

ДСТУ 7503:2014 Геліоенергетика. Станції фотоелектричні. Терміни та визначення понять;

ДСТУ CLC/TS 61836:2022 Сонячні фотоелектричні енергетичні системи. Терміни, визначення та символи (CLC/TS 61836:2009, IDT; IEC/TS 61836:2007, IDT);

• **в частині загальних вимог та правил проектування:**

ДСТУ EN 61194:2022 Характерні параметри автономних фотоелектричних (PV) систем (EN 61194:1995, IDT; IEC 61194:1992, MOD);

ДСТУ IEC 60364-7-712:2019 Електроустановки низьковольтні. Частина 7-712. Вимоги до спеціальних електроустановок або місць їх розташування. Системи живлення з використанням фотоелектричних батарей (IEC 60364-7-712:2017, IDT);

ДСТУ IEC 61727:2019 Системи фотоелектричні. Характеристики точок підключення до інженерних мереж (IEC 61727:2004, IDT);

ДСТУ IEC TS 62257-7-1:2019 Рекомендації щодо малих відновлювальних джерел енергії та гібридних систем електрифікації сільських районів. Частина 7-1. Генератори. Фотоелектричні генератори (IEC TS 62257-7-1:2010, IDT);

ДСТУ 8635:2016 Геліоенергетика. Площадки для фотоелектричних станцій. Приєднання станцій до електроенергетичної системи;

ДСТУ EN 61724-1:2022 Ефективність фотоелектричної системи. Частина 1. Моніторинг (EN 61724-1:2017, IDT; IEC 61724-1:2017, IDT);

ДСТУ EN 62116:2022 Фотоелектричні інвертори, з'єднані з електромережею. Процедура випробування заходів із запобігання відключенню (EN 62116:2014, IDT; IEC 62116:2014, IDT);

ДСТУ CLC/TS 51643-32:2022 Пристрої захисту від перенапруг низької напруги. Частина 32. Пристрої захисту від перенапруг, підключені до сторони постійного струму фотоелектричних установок. Принципи вибору та застосування (CLC/TS 51643-32:2020, IDT);

ДСТУ EN IEC 62938:2022 Фотоелектричні (PV) модулі. Тестування нерівномірного снігового навантаження (EN IEC 62938:2020, IDT; IEC 62938:2020, IDT);

ДСТУ EN 62124:2022 Фотоелектричні (PV) автономні системи. Перевірка проекту (EN 62124:2005, IDT; IEC 62124:2004, IDT);

• **в частині вимог до обладнання та компонент ФЕС:**

ДСТУ 8328:2015 Геліоенергетика. Модулі фотоелектричні. Загальні технічні вимоги;

ДСТУ EN 61215-12:2022 Наземні фотоелектричні модулі. Атестація конструкції та схвалення типу. Частина 1. Вимоги до випробувань;

ДСТУ EN 61427-1:2022 Вторинні елементи та батареї для накопичення відновлюваної енергії. Загальні вимоги та методи випробування. Частина 1. Фотоелектричне автономне застосування (EN 61427-1:2013, IDT; IEC 61427-1:2013, IDT);

ДСТУ EN 50618:2018 Кабелі електричні для фотоелектричних систем (EN 50618:2014, IDT);

ДСТУ EN 60269-6:2015 Запобіжники плавкі низьковольтні. Частина 6. Додаткові вимоги до плавких вставок для захисту фотоелектричних сонячних енергосистем (EN 60269-6:2011, IDT);

ДСТУ EN 61643-11:2018 Низьковольтні пристрої захисту від перенапруг. Частина 11. Пристрої захисту від перенапруг, з'єднані з низьковольтними системами електроживлення. Вимоги та методи випробування (EN 61643-11:2012, IDT; IEC 61643-11:2011, MOD);

ДСТУ EN 62920:2022 Фотоелектричні системи генерації електроенергії. Вимоги до електромагнітної сумісності та методи випробування обладнання для перетворення електроенергії (EN 62920:2017, IDT; IEC 62920:2017, IDT);

ДСТУ EN IEC 62446-2:2022 Фотоелектричні (PV) системи. Вимоги до тестування, документації та технічного обслуговування. Частина 2. Системи, підключені до мережі. Технічне обслуговування фотоелектричних систем (EN IEC 62446-2:2020, IDT; IEC 62446-2:2020, IDT);

ДСТУ EN IEC 61730-2:2018 Визначення безпеки фотоелектричних модулів. Частина 2. Вимоги до випробувань (EN IEC 61730-2:2018; AC:2018-06, IDT; IEC 61730-2:2016, IDT).

**ЗМІСТ (орієнтовний):**

Вступ

1. Сфера застосування
  2. Нормативні посилання
  3. Терміни та визначення понять
  4. Позначки та скорочення
  5. Загальні вимоги
  6. Оцінювання та вибір площадок ФЕС
  7. Архітектурно-будівельні рішення
  8. Технологічні рішення
  9. Електротехнічні рішення
    - 9.1. Вибір ФЕМ
    - 9.2. Акумуляторні батареї
    - 9.3. Схеми електричних з'єднань
    - 9.4. Схеми приєднання ФЕС до електроенергетичної системи
    - 9.5. Керування, моніторинг та облік електроенергії
    - 9.6. Захист від блискавки
  10. Пожежна безпека
  11. Оцінка впливу на навколишнє середовище
- Додаток А (довідковий). Приклад розрахунку параметрів автономної ФЕС потужністю 10 кВт
- Додаток Б (довідковий). Приклад розрахунку параметрів мережевої ФЕС потужністю 200 кВт
- Бібліографія
- Додаток В (довідковий). Загальні правила визначення кількості сонячного випромінювання залежно від орієнтації сонячних панелей та періоду року.

# IX Міжнародна спеціалізована виставка технологій, обладнання та матеріалів для аддитивного виробництва та 3D друку



## Addit EXPO 3D



Актуально  
для 3D стоматології

**26–28**  
травня  
**2026**



Місце проведення:  
МВЦ, м. Київ,  
Броварський пр-т, 15,  
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-87



[helen@iec-expo.com.ua](mailto:helen@iec-expo.com.ua)



[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)



V МІЖНАРОДНА  
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

A large graphic of a microchip with a green border and white pins, containing the event title.

**E-Comps  
+  
DigiTec**

**13–15 жовтня 2026**



Місце проведення:  
МВЦ, м. Київ,  
Броварський пр-т, 15,  
станція метро «Лівобережна»

Контакти:

+38 (095) 268-05-84  
lyudmila@iec-expo.com.ua  
www.iec-expo.com.ua





## ВАЛЕНТИН ВАСИЛЬОВИЧ ДОЛГОПЛОВ

24 травня 2025 р. перестало битися серце Почесного енергетика України, відомого фахівця з електропідстанцій **Долгополова Валентина Васильовича**.

Валентин Васильович народився 26 травня 1936 р. у м. Путивль Сумської області, зростав у дружній багатодітній сім'ї, маючи 9 братів і сестер.

У 1960 р., після закінчення факультету електрифікації сільського господарства Української сільськогосподарської академії, отримав диплом інженера-електрика.

Весь активний трудовий шлях, починаючи з 1960 р. і до виходу у 2011 р. на пенсію, пройшов в інституті “Укрсільенергопроект”, де Валентин Васильович виріс від рядового інженера-налагоджувальника автоматики малих гідроелектростанцій (МГЕС) до заступника директора інституту.

Очолюючи один з основних підрозділів інституту — відділ підстанцій — Валентин Васильович ефективно сприяв своєчасному забезпеченню якісною проектною документацією будівництва підстанцій з усіма об'єктами інфраструктури.

У 1990-х роках Валентин Васильович був керівником і координатором підготовки проектно-конструкторської документації українських комплектних блочних підстанцій (КТПБР) напругою 110/35/10 кВ

потужністю до 40 МВ·А, серійне виготовлення яких здійснив Рівненський завод високовольтної апаратури.

Валентин Васильович був взірцем фахівця найвищої кваліфікації, стриманим, високопорядним, вимогливим до себе і підлеглих.

Разом з дружиною Валентиною Іванівною виховали двох синів — Юрія та Костянтина.

Молодший — Юрій — з перших днів війни став на захист України і героїчно загинув у травні 2023 р. під Бахмутом, посмертно нагороджений **орденом “За мужність” 3 ст.**

Онук — Станіслав Костянтинович — від початку війни в лавах ЗСУ.

Валентин Васильович брав участь у ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС.

В.В. Долгополов нагороджений:  
**Нагрудним знаком “Почесний енергетик України”**  
**Нагрудним знаком “60 років ГОЕЛРО”**  
**Медаллю “Ветеран праці”**

Світла йому пам'ять і вічний спокій.

*Рідні, друзі, співробітники,  
 фахівці-енергетики, які знали і шанували  
 Валентина Васильовича.*



## ВОЛОДИМИР ГРИГОРОВИЧ СТАФІЙЧУК

16 вересня 2025 року покинув цей світ колишній головний інженер інституту "Укрсільенергопроект" **Стафійчук Володимир Григорович**.

Володимир Григорович народився 20 березня 1937 року в селі Загниткові Вінницької області.

Після закінчення з відзнакою у 1959 році Української сільськогосподарської академії, його як здібного випускника запросили на роботу в інститут, де пройшли всі 57 років його трудової діяльності.

Свою діяльність Володимир Григорович почав з автоматизації сільських ГЕС, які були збудовані в 1940–1960-х роках за проектами інституту і відіграли позитивну роль у електрифікації сільськогосподарських споживачів, аж поки не було дозволено приєднати їх до державних електричних мереж.

Важливий внесок Володимир Григорович зробив у створенні нормативної бази для проектування електричних мереж з визначенням електричних навантажень сільських споживачів різних регіонів. Запропоновані в 70-х роках XX сторіччя методологічні підходи з визначення електричних навантажень споживачів використовуються в проектуванні мереж до цього часу, інші розробки, 120 з яких було опубліковано, органічно увійшли до складу української нормативної бази енергетики після 1991 року.

Особливо свій талант організатора Володимир Григорович проявив при створенні найвизначнішого документа для всіх електриків — правил улаштування електроустановок. До розробки було залучено

50 організацій співвиконавців, проекти окремих складових публікувалися в різних виданнях для широкого обговорення. Тисячі зауважень пропозицій, 12 років напруженої роботи і, як результат, у 2017 році вийшла друком остаточна редакція українських ПУЕ з передмовою Володимира Григоровича.

На посадах заступника директора з наукової роботи та головного інженера, він, з притаманною йому інтелігентністю, підтримував творчу ініціативу підлеглих, сприяв їх професійному зростанню.

Однокурсники Володимира Григоровича були завжди вдячні за організацію регулярних зустрічей на базі рідного вишу в Голосієві.

Разом з дружиною Мартою Наумівною виховали доньку Євгенію і сина Владислава. Євгенія доктор філологічних наук, професор української філології. Владислав працює адвокатом.

Онука Маргарита Владиславівна захистила дисертацію доктора філософії з історії.

Володимир Григорович — учасник ліквідації аварії на Чорнобильській атомній електростанції.

За роки роботи в інституті Володимира Григоровича неодноразово відзначали почесними нагородами, в тому числі нагрудним знаком **"Почесний енергетик"**.

Глибока повага і щира вдячність Володимирі Григоровичу залишаться в пам'яті всіх тих, хто його знав і разом з ним працював.

**НАБЛИЖАЄМО ЕНЕРГЕТИКУ  
МАЙБУТНЬОГО СЬОГОДНІ**

**ХVІІІ МІЖНАРОДНА  
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА  
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕКОЛОГІЇ,  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

**13 – 15 ЖОВТНЯ**




**EcoEnergy  
Expo'2026**



**Місце проведення:**

МВЦ, м. Київ,  
Броварський пр-т, 15,  
станція метро «Лівобережна»

**Контакти:**

 +38 (095) 268-05-84  
 [lyudmila@iec-expo.com.ua](mailto:lyudmila@iec-expo.com.ua)  
 [www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)





VIII Міжнародна спеціалізована виставка  
низьковольтної електротехніки  
та електроніки

# ELECTRO INSTALL 2026

**Жовтень 13–15**

Місце проведення:

**МІЖНАРОДНИЙ  
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**



Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15

тел.: +38 (095) 268-05-84

e-mail: [lyudmila@iec-expo.com.ua](mailto:lyudmila@iec-expo.com.ua)

[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)



XXIII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВОСТІ '2026



**13–15  
ЖОВТНЯ**



Місце проведення:  
МВЦ, м. Київ,  
Броварський пр-т, 15,  
станція метро «Лівобережна»

Контакти:

☎ +38 (095) 268-05-84  
✉ [lyudmila@iec-expo.com.ua](mailto:lyudmila@iec-expo.com.ua)  
🌐 [www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)

